PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 7/8 — 20. April 1942 — Redaktionsschluß für Nr. 9 bis am 1. Mai 1942 — 43. Jahrgang

INHALT:

Fr. Hoffmann, Walther Nernst zum Gedächtnis. S. 109.

Abhandlungen:

B. Heß und R. Jaeger, Über die praktische Reichweite der Sekundärelektronen radiumähnlicher Röntgenstrahlung. S. 117.

A. Scheibe und U. Adelsberger, Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich 10 h 45 min für Februar 1942. S. 120.

P. Gorlich, Über die Sekundäremission aufgedampfter Antimonschichten. S. 121.

W. Kolhörster und K. Lange, Ein erprobter Photoregistrierer. Mit Tafel XV. S. 123.

R. W. Pohl, Zur Definition der Loschmidtschen Zahl. S. 125.

A. Matthias, Bemerkung zur Entstehung des Elektronenmikroskops. S. 129.

E. Justi, Experimenteller Nachweis von Umklapprozessen beim Übergang Normalleitung - Supraleitung im Magnetfeld. S. 130.

Besprechungen. S. 134.

Nachrichten. S. 136.

Gesuche. S. 136.

Walther Nernst zum Gedächtnis

Von Fr. Hoffmann, PTR.

Am 18. November 1941 verschied Walther Nernst im 77. Lebensjahre auf seinem Landsitz Ober-Zibelle bei Muskau. Damit hat das an Erfolgen ungewöhnlich reiche Leben eines wissenschaftlichen Forschers von Weltruf seinen Abschluß gefunden, dessen Lebensarbeit in überwiegendem Maße der physikalischen Chemie und Thermodynamik gewidmet war, wo es ihm gelang, neue Wege zu eröffnen und erfolgreich zu beschreiten, der aber weit darüber hinaus auch andere Teile der Physik, die Chemie und Technik, sogar die Astrophysik und Physiologie mit seinen Ideen befruchtet hat.

Hermann Walther Nernst wurde am 25. Juni 1864 in Briesen (Westpr.) geboren. Seine Schulbildung genoß er auf dem Gymnasium zu Graudenz, das er 1883 mit dem Reifezeugnis verließ. Von 1883 bis 1887 studierte er in Zürich, Berlin, Graz und Würzburg. In Graz empfing er die stärksten Eindrücke von Ludwig Boltzmann, dessen Neigung, mechanische Bilder als Forschungsmittel zu benutzen, auch Nernst sich zu eigen machte. Aber weit mehr als die Theorie fesselten ihn experimentelle Untersuchungen, zu denen er im Laboratorium des dortigen Physikers Albert von Ettingshausen reiche Anregung fand. Bald entwickelte sich eine Gemeinschaftsarbeit daraus, die den thermo- und elektromagnetischen Erscheinungen gewidmet war und zur Entdeckung zweier neuer Effekte führte, von denen der eine den Namen Nernst führt. Mit einer Arbeit, die sich an diese Untersuchungen anschloß, „Über die elektromotorischen Kräfte, welche durch den Magnetismus in von einem Wärmestrom durchflossenen Metallplatten geweckt werden", promovierte Nernst 1887 bei Friedrich Kohlrausch in Würzburg. Hier in Würzburg machte er nun die Bekanntschaft mit Sv. Arrhenius, der ebenfalls bei Kohlrausch arbeitete, und mit Tammann und empfing die ersten Anregungen auf physikalisch-chemischem Gebiet. Zunächst kehrte er zusammen mit Arrhenius nach Graz zurück und setzte seine Arbeiten bei Ettingshausen fort. Aber kurz darauf geschah der entscheidende Schritt, durch den er ganz für die physikalische Chemie gewonnen wurde. 1887 hatte Wilhelm Ostwald, einer der tätigsten Pioniere auf diesem emporblühenden Wissensgebiete, auf das er durch sein soeben erscheinendes großes Lehrbuch die allgemeine Aufmerksamkeit lenkte, in Leipzig einen Lehrstuhl für diese Disziplin und ein neu errichtetes Institut erhalten. Sein Bestreben ging nun dahin, alle auf diesem Gebiete arbeitenden Kräfte zusammenzuführen, wozu er mit van't Hoff die Zeitschrift für physikalische Chemie gründete, und neue Kräfte zu werben. Wegen eines eigenen Assistenten wandte er sich an Arrhenius, auf dessen Empfehlung Nernst diese Stelle erhielt. So kam Nernst 1887 nach Leipzig, wo sich alsbald um Ostwald ein großer Kreis junger Forscher zusammenfand. Neben den beiden anderen Assistenten Ostwalds, Ernst Beckmann und Julius Wagner, waren das Gustav Tammann, Max Le Blanc, Wilhelm Meyerhofer und schließlich Arrhenius, der sich nach einem kurzen Aufenthalt bei van't Hoff in Amsterdam ebenfalls

nach Leipzig gewandt hatte. In regem Gedankenaustausch mit ihnen allen gelang es Nernst, in kürzester Zeit sich in das neue Gebiet einzuarbeiten, zugleich aber auch eigene Gedanken hineinzutragen, so daß er bereits im folgenden Jahre (1888) mit einer selbständigen Arbeit „Zur Kinetik der in Lösung befindlichen Körper" hervortreten konnte. Sie enthält im wesentlichen eine Theorie der Diffusion auf Grund der damals neuen Theorie der Lösungen, in welcher die von van't Hoff (1885) entwickelten Begriffe des osmotischen Druckes und der den Gasen analogen Expansivkraft der gelösten Stoffe eine Hauptrolle spielen. Aber Nernst verband sogleich mit diesen Vorstellungen die gleichzeitig von Arrhenius entwickelte Theorie der elektrolytischen Dissoziation und legte so den Grund zu seiner Theorie vom Entstehen elektromotorischer Kräfte in Elektrolyten. 1889 habilitierte er sich mit der Schrift „Über die elektromotorische Wirksamkeit der Ionen", worin diese Gedanken zu einem gewissen Abschluß gebracht wurden. Diese berühmt gewordene Arbeit begründete mit einem Schlage seinen Ruf. Ihre Bedeutung liegt darin, daß durch die ionentheoretischen Vorstellungen die thermodynamische Theorie der Konzentrationsketten von von Helmholtz eine anschauliche Deutung erhielt, die ihrer Weiterentwicklung ungemein förderlich war. Der hier neu eingeführte Begriff der „Lösungstension" der Metalle schuf nicht nur eine wohldefinierte, quantitativ erfaßbare Größe, sondern ermöglichte auch die Berechnung der Potentialdifferenzen an der Grenzschicht zwischen Elektrode und Elektrolyt sowie zweier Elektrolyte verschiedener Konzentration und begründet damit die Theorie der galvanischen Elemente. Damit ist die Arbeit zu fundamentaler Bedeutung für die ganze neuere theoretische und praktische Elektrochemie geworden und hat zum großen Teil die bedeutsamen Fortschritte der elektrochemischen Technik erst ermöglicht.

Nach einer kurzen Tätigkeit als Vorlesungsassistent in Heidelberg im Sommersemester 1889 kehrte Nernst nach Leipzig zurück, ging aber dann Ostern 1890 als Assistent von E. Riecke an das Physikalische Institut der Universität Göttingen. Hier erhielt er schon 1891 ein Extraordinariat und eine selbständige Abteilung und 1894 ein Ordinariat und ein eigenes Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, dessen Leiter er bis 1905 war. So wurde Göttingen der Boden, auf dem er zum ersten Male ganz der Entfaltung seiner eigenen Ideen leben konnte, deren Fruchtbarkeit sich sogleich glänzend erwies. Eine überaus intensive Arbeit setzte ein, die bald das gesamte Gebiet der physikalischen Chemie umfaßte und überall durch Einführung einer ganz neuen Betrachtungsweise wertvollste neue Erkenntnisse zutage förderte oder vorbereitete. In kurzem wurde das Göttinger Institut der Sammelplatz zahlreicher befähigter Forscher, deren Tätigkeit mit der ihres genialen Leiters so zu einer Einheit verschmolz, daß zur rechten Würdigung der wissenschaftlichen Leistungen dieser Zeit die Gesamtheit der Meister- und Schülerarbeiten des Institutes herangezogen werden muß.

Mit den in seiner Habilitationsschrift entwickelten Gedanken hatte Nernst eine überaus folgenreiche Synthese vollzogen. Vor seinem Eingreifen hatten die Thermodynamik, die Ionentheorie (Arrhenius) und die osmotische Theorie (van't Hoff) ziemlich unvermittelt nebeneinander gestanden, jede mit der Lösung gewisser, mehr oder weniger eng begrenzter Gebiete beschäftigt. Nernst genügte es nicht, daß die Ionentheorie mit ihrer Annahme der elektrolytischen Dissoziation die elektrischen Eigenschaften der Lösungen (Leitfähigkeit, Überführungszahl u. a.) zu erklären vermochte; er machte Ernst mit der Annahme der Existenz geladener Partikel, stellte die Frage nach dem chemischen Gleichgewicht zwischen ihnen und den ungeladenen Molekeln und seiner Verschiebung unter dem Einfluß äußerer Kräfte. Und indem er diese nach dem Prinzip der Thermodynamik behandelte, gelang es ihm, Gesetzmäßigkeiten aufzufinden, die die verschiedensten Erscheinungen eng miteinander verknüpften. Die elektromotorische Wirksamkeit der Ionen spielt eine wesentliche Rolle bei den Erscheinungen der Diffusion und des osmotischen Druckes. Sie ist aber auch maßgebend beteiligt bei der Löslichkeit, besonders deren Beeinflussung durch die Gegenwart anderer löslicher Stoffe und der Verteilung eines Stoffes auf zwei Lösungsmittel, für die Nernst 1891 seinen „Verteilungssatz" aufstellte. Sie steht ferner in engstem Zusammenhang mit den elektromotorischen Kräften, die an den Grenzflächen des Elektrolyten gegen ein Metall auftreten. So wirken an einer unpolarisierten Elektrode die Ladungen, die osmotischen Kräfte und die Lösungstension der Metalle gegeneinander und aus dem Widerspiel dieser Kräfte ließen sich alle bis dahin an umkehrbaren galvanischen Elementen aufgefundenen Gesetzmäßigkeiten ableiten. Aber auch auf die polarisierten Elektroden ließ sich die gleiche Betrachtungsweise anwenden. Mit ihr wurde die Theorie der Polarisation wesentlich gefördert, die Erscheinung der Überspannung dabei entdeckt, die Theorie des Akkumulators durch die thermodynamische Behandlung neu gestaltet, die Erscheinungen der Elektrokapillarität durch neue Untersuchungen aufgeklärt und für alle Messungen auf dem Gebiete der elektrolytischen

Potentialdifferenzen durch Einführung der Normalwasserstoffelektrode eine feste Grundlage geschaffen. Einen wesentlichen Einfluß auf die Dissoziation eines Elektrolyten schrieb Nernst der Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels zu, da durch sie die gegenseitige Anziehung der Ionen maßgebend beeinflußt wird. Er entwickelte deshalb eine Methode der Bestimmung dieser Konstanten, die auf einer Kapazitätsvergleichung in einer mit Wechselstrom belasteten Wheatstoneschen Brücke beruht, wobei ein Telephon als Nullinstrument diente. Die gleiche Anordnung verwendete er auch zur Messung des inneren Widerstandes polarisierbarer elektrolytischer Zellen. Von meßtechnischem Interesse sind Versuche, das Telephon durch einen Detektor zu ersetzen.

Die Erkenntnisse, die Nernst durch seine Theorie der Elektrochemie gewann, waren von weittragendster Bedeutung. Das erkannte er selbst in voller Klarheit und wußte auch auf den verschiedensten Gebieten auch außerhalb der eigentlichen physikalischen Chemie die Folgerungen daraus zu ziehen. So erschien ihm der Vorgang der Reizung der Nerven durch den elektrischen Strom von seinem Standpunkt aus in neuem Lichte. Auch die Nerven sind ja ein elektrolytisches System mit Grenzschichten, in dem äußere elektromotorische Kräfte analoge Wirkungen hervorrufen müssen wie in galvanischen Zellen. Konzentrationsänderungen der in der Nervenflüssigkeit enthaltenen Ionen sind zu erwarten und als Folge davon Ladungen an den Grenzschichten, die eine Reizung des Nervs zwanglos erklären können. Die Nernstsche Theorie der elektrischen Nervenreizung auf Grund dieser Hypothese konnte die beobachteten Erscheinungen auch quantitativ wiedergeben und zugleich die Unempfindlichkeit des menschlichen Körpers gegen Hochfrequenzströme verständlich machen, die für ihre medizinische Verwendung in der Diathermie von Bedeutung ist.

Scheinbar noch weiter abseits seines eigentlichen Arbeitsgebietes liegt die technische Erfindung, die Nernst 1896 machte und die seinen Namen bald in aller Mund brachte: die „Nernst-Lampe". Die Grundlage bildete die interessante Beobachtung, daß es keramische Körper gibt, deren elektrisches Leitvermögen mit der Temperatur außerordentlich stark ansteigt, so daß sie bei Zimmertemperatur Nichtleiter, bei Rotglut aber schon so gute Leiter sind, daß sie durch den Strom in Glut erhalten und weiter aufgeheizt werden können. Derartige „Heißleiter", deren Leitfähigkeit elektrolytischer Natur ist, sind Gemische aus seltenen Erden, wie sie auch im Auerglühstrumpf verwendet werden. Leuchtkörper in Stäbchenform konnten in freier Luft wegen des hohen Schmelzpunktes der Masse auf helle Weißglut gebracht werden und zeigten dabei hervorragende Strahlungseigenschaften. Lampen mit solchen Glühstiften erforderten nur noch 1,5 Watt/Kerze, gegenüber 3–4 Watt/Kerze bei den damaligen elektrischen Glühlampen. Trotz der Schwierigkeit der Zündung schien die Nernst-Lampe wegen dieses beträchtlich höheren Nutzeffektes berufen zu sein, eine führende Stellung in der elektrischen Leuchttechnik einzunehmen, als die kurze Zeit darauf erscheinende Metallfadenlampe mit etwa 1 Watt/Kerze sie vollkommen aus dem Felde schlug. „Es gibt Erfindungen, die für diese Welt zu schön sind", äußerte Nernst einmal ironisch dazu. Indessen ist die Rolle des keramischen Heißleiters noch keineswegs ausgespielt: sowohl als Leuchtkörper wie besonders auch als Heizkörper für Laboratoriumsöfen schenkt man ihm heute wieder mit Recht größere Beachtung.

Auf dem Gebiete der physikalischen Chemie selbst traten in steigendem Maße die allgemeinen Fragen der chemischen Dynamik, nämlich des chemischen Gleichgewichtes und der Reaktionsgeschwindigkeit, sowie das damit zusammenhängende Problem des Wesens der chemischen Affinität in den Vordergrund. Mit sicherem Blick erkannte Nernst, daß eine experimentelle Bestätigung der mit Hilfe der Thermodynamik, insbesondere des II. Hauptsatzes gewonnenen Gesetzmäßigkeiten hier am sichersten in hohen Temperaturen zu erwarten ist, weil zur Untersuchung geeignete Gleichgewichte sich im allgemeinen erst dort genügend schnell einstellen. Aus dieser Erwägung heraus bestimmte er mit seinen Mitarbeitern zahlreiche theoretisch und praktisch wichtige Gleichgewichte: die Dissoziationsgleichgewichte von Wasserdampf, Kohlensäure, Stickoxyd, Ammoniak u. a. bei Temperaturen bis 3000°, maß die spezifische Wärme der Gase, die für die Berechnung dieser Gleichgewichte nötig ist, ferner Dampfdrucke und Molekulargewichte und gewann auf diesem noch fast unerschlossenen Gebiete eine Fülle zuverlässiger Zahlenwerte, die für die Wissenschaft ebenso wie für die Technik von größtem Werte waren. Wieweit auch hier wieder der Gesichtskreis Nernsts reichte, erhellt am besten daraus, daß Probleme der verschiedenartigsten Gebiete von der Physiologie bis zur reinen Technik angepackt wurden: die Behandlung des Gleichgewichtes zwischen Toxin und Antitoxin steht neben Betrachtungen über den Verbrennungsprozeß in Gasmotoren. Die Durchführung dieser Arbeiten erforderte eine große experimentelle Geschicklichkeit, die allein schon Bewunderung verdient, vollkommen neue Meßmethoden mußten erst ausgebildet oder bekannte für den Bereich extrem hoher Temperaturen umgebildet werden. So wurde für die

Bestimmung der spezifischen Wärme von Gasen unter anderem eine Explosionsmethode entwickelt, bei der die schnellverlaufende Druckänderung gemessen wurde. Zur Molekulargewichtsbestimmung bei sehr hohen Temperaturen nach der Dampfdichtenmethode wurde zum ersten Male ein Iridiumwiderstandsofen benutzt, in dem sich Temperaturen bis 2000° erreichen ließen, und zu der dabei erforderlichen Bestimmung sehr geringer Substanzmengen wurde eine Mikrowaage zum Abwägen von 1–2 mg konstruiert. Für die Temperaturmessung selbst, bei der Nernst das Wanner-Pyrometer bevorzugte, wurden Fragen der optischen Pyrometrie erörtert und zur Sicherung der Skala die Schmelzpunkte von Platin und Iridium neu bestimmt. Eine Bestimmung der Gesamthelligkeit des schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Temperatur und der Vorschlag, den schwarzen Strahler bei einer bestimmten Temperatur als Urnormal für die Lichteinheit zu verwenden, gehören zeitlich (1906) bereits der folgenden Epoche, sachlich aber ganz diesem Ideenkreise an.

Die Tätigkeit in Göttingen fand ihren Abschluß durch die Berufung Nernsts im Jahre 1905 nach Berlin an das Physikalisch-Chemische Institut der Universität als Nachfolger von H. Landolt. Unmittelbar nach seiner Übersiedlung nach Berlin trat Nernst mit einer seiner bedeutendsten Leistungen, der Aufstellung seines neuen Wärmesatzes an die Öffentlichkeit. Die mit Begründung dieses Satzes und seiner experimentellen Bestätigung verknüpften Arbeiten standen nunmehr lange Jahre hindurch ganz im Vordergrunde des Interesses und gaben seinem Schaffen eine ganz neue Richtung. Die erste Darstellung dieses Satzes gab Nernst 1906, aber die Vorarbeiten dazu waren im Jahre 1905 im wesentlichen abgeschlossen, gehören also noch ganz der Göttinger Zeit an. Die Forschungen auf dem Gebiete der chemischen Dynamik hatten mit immer größerer Deutlichkeit gezeigt, daß die sogenannte klassische Thermodynamik, die sich auf den I. und II. Hauptsatz stützt, zu einer vollständigen Berechnung chemischer Gleichgewichte aus thermischen Daten nicht ausreicht. Die fundamentale Beziehung, die alle Anwendungen des II. Hauptsatzes auf chemische Prozesse in sich enthält, ist die Differentialgleichung $A - U = T \cdot dA/dT$. Hierin ist U die thermochemisch gemessene Wärmetönung des Prozesses und A die bei isothermer und reversibler Leitung maximal zu gewinnende Arbeit (freie Energie), die ein Maß für die chemische Affinität ist. Nun kann daraus zwar U berechnet werden, wenn A, nicht aber A, wenn U als Funktion der Temperatur bekannt ist, weil in diesem Falle eine unbekannte Integrationskonstante auftritt. Aus dem II. Hauptsatz läßt sich also keine Beziehung zwischen A und U ableiten. Auffällig erschien dabei die Tatsache, daß das Prinzip von Berthelot, nach dem $U = A$ sein sollte und das allgemein sicher nicht richtig ist, im großen und ganzen doch zu gut stimmte, als daß dies einer mehr zufälligen Parallelität zugeschrieben werden könnte. Dadurch entstand der Gedanke, daß noch weitere Gesetzmäßigkeiten vorhanden sein müßten, aus denen der Zusammenhang zwischen den beiden thermodynamischen Funktionen eindeutig folgt. Die Erfahrungstatsache, die zur Auffindung dieser Gesetzmäßigkeit führten, ergaben sich aus dem Verhalten der Stoffe bei tiefen Temperaturen. Aus zahlreichen Messungen ging hervor, daß die spezifische Wärme fester und flüssiger (amorpher) Körper bei tiefen Temperaturen verschwindend klein werden, wonach zu erwarten ist, daß die Gleichsetzung von Affinität und Wärmeentwicklung einer Reaktion um so mehr zutreffen muß, je näher man dem absoluten Nullpunkt kommt. Macht man die Annahme, daß sie beim absoluten Nullpunkt selbst streng erfüllt ist, so folgt daraus die Bedingung $\lim dA/dT = \lim dU/dT = 0$ für $T = 0$. Mit dieser Grenzbedingung ist aber auch die Integrationskonstante bestimmt, denn unter allen Kurven für A als Funktion von T die mit der Konstanten als Parameter die Differentialgleichung befriedigen, gibt es nur eine, die beim absoluten Nullpunkt mit der Kurve von U als Funktion von T gemeinsam die Tangente Null hat. Nun ist der Verlauf der Kurve von U aber gegeben, wenn U bei einer beliebigen, z. B. Zimmertemperatur, kalorimetrisch gemessen ist und die spezifischen Wärmen aller beteiligten Stoffe bis zu möglichst tiefen Temperaturen bestimmt sind, und zwar bis zum absoluten Nullpunkt, da die Extrapolation wegen der abnehmenden spezifischen Wärme sehr sicher ist. Damit ist aber auch der Verlauf der Kurve von A als Funktion von T vollständig bestimmt und die Abhängigkeit der maximalen Arbeit oder der chemischen Affinität von der Temperatur vollkommen bekannt.

Der neue Wärmesatz ließ sich zunächst nur auf feste und flüssige Stoffe (sog. kondensierte Systeme) anwenden, weil nur bei diesen die spezifische Wärme mit sinkender Temperatur unbegrenzt abnimmt. Zur Prüfung des Satzes war hier die Beschaffung eines umfangreichen Beobachtungsmaterials und dazu die Entwicklung der Arbeitsmethoden in tiefen Temperaturen, ihre Herstellung sowie die thermischen und kalorimetrischen Messungen bei diesen erforderlich. So wurde ein Apparat für Wasserstoffverflüssigung geschaffen, das Verhalten von Thermoelementen und Widerstandsthermometern in sehr tiefen Temperaturen studiert und ein Vakuum- und Kupferkalorimeter für die Bestimmung der differentiellen spezifischen Wärme konstruiert. Die mit diesen Hilfsmitteln

gewonnenen Zahlenwerte ergaben nun eine weitgehende Bestätigung des Nernstschen Satzes. Zunächst führten die Messungen zu dem seinerzeit überraschenden Ergebnis, daß die Molekularwärmen sämtlicher fester und (glasartig erstarrter) flüssiger Körper bei sinkender Temperatur wirklich dem Werte Null zustreben. Damit war eine wichtige Grundlage des Satzes gesichert. Dann aber ergab sich für zahlreiche Reaktionen: bei der Bildung von Jodsilber, der Umwandlung der Zinn- und Schwefelmodifikation, für verschiedene Hydratisierungen, die Reaktion des Clarkelementes u. a., daß die gemessenen Werte der freien Energie in befriedigender Weise mit den Forderungen des Satzes in Einklang waren. Von den zahlreichen Folgerungen, die sich aus dem Satz für kondensierte Systeme ziehen lassen, sei nur genannt, daß bei der thermischen Ausdehnung fester Körper sowohl der Spannungs- wie der Ausdehnungskoeffizient bei Annäherung an den absoluten Nullpunkt Null werden, daß die Oberflächenspannung, die thermoelektrische Kraft und ebenso die magnetische Suszeptibilität, kurz alle physikalischen Eigenschaften fester Körper bei hinreichend tiefer Temperatur von der Temperatur unabhängig werden. Seinen präzisen Ausdruck findet dies Verhalten in der These, daß am absoluten Nullpunkt alle Übergänge eines Systems von einem Zustand in den anderen ohne Entropieänderung verlaufen.

Bei der Behandlung von Systemen mit einer Gasphase tritt die Komplikation hinzu, daß die Mischbarkeit der Phasen berücksichtigt werden muß, so daß die maximale Arbeit in hohem Maße von den Konzentrationen abhängt, oder den Partialdrucken, in denen die Bestandteile in der Gasphase vorhanden sind. Indessen ist auch hier die Integrationskonstante berechenbar aus der Summe der Integrationskonstanten der Dampfdruckformeln für die Reaktionsteilnehmer, für die Nernst den Begriff der „chemischen Konstanten" eingeführt hat. Mit diesen chemischen Konstanten, die sich auch theoretisch berechnen lassen, konnten zahlreiche chemische Gleichgewichte in Übereinstimmung mit der Messung berechnet werden.

Auf reine Gase läßt sich der Wärmesatz nicht ohne weiteres anwenden, weil die idealen Gase den Forderungen des Satzes nicht Genüge leisten. Allein, überzeugt von der Allgemeingültigkeit seines Satzes überwand Nernst auch diese Schwierigkeit, indem er annahm, daß die Gase in tiefsten Temperaturen in einen besonderen Zustand, den der „Gasentartung" übergehen, indem ihr Druck bei konstantem Volumen und ihr Volumen bei konstantem Druck von der Temperatur unabhängig wären, während ihre Energie einen festen Wert, die sog. „Nullpunktsenergie" annehme. Mit dieser Annahme läßt sich die Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur aus thermischen Daten ableiten. Experimentell nachgewiesen konnte die Gasentartung an Wasserstoff, Helium und einigen anderen Gasen werden.

Eine grundlegende Folgerung aus dem Wärmesatz ist die, daß es keinen in endlichen Dimensionen verlaufenden Prozeß geben kann, mit dessen Hilfe ein Körper bis zum absoluten Nullpunkt abgekühlt werden kann. Der Satz kann also auch negativ als ein „Prinzip von der Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunktes" formuliert werden. Dadurch tritt er vollkommen analog dem I. und II. Hauptsatz, den Prinzipien der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile 1. und 2. Art als III. Hauptsatz zur Seite.

Bei der Ableitung seines Satzes hatte Nernst mit wissenschaftlichem Feingefühl die Annahmen gemacht, die mit den bis dahin bekannten Tatsachen am besten vereinbar waren. Die experimentellen Bestätigungen bewiesen die Berechtigung dieser Annahmen. Aber zu einem gesicherten Bestandteil der Wissenschaft wurde der Satz doch erst durch den Nachweis der Verträglichkeit mit dem Gesamtgefüge dieser Theorie. Nun läßt sich der Nernstsche Satz aus den beiden Hauptsätzen unter der Voraussetzung ableiten, daß die spezifischen Wärmen bei tiefen Temperaturen mindestens von der 1. Ordnung gleich Null werden. Ein solches Nullwerden folgt aber aus der Quantentheorie sogar mit erheblich höherer als der 1. Ordnung, und zwar nicht nur für feste Stoffe, sondern auch für Gase endlicher Konzentration. Der Wärmesatz ist also mit der Quantentheorie verträglich, ja er ist sogar auf Grund von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen aus der Quantentheorie ableitbar.

In einer Monographie „Die theoretischen und experimentellen Grundlagen des neuen Wärmesatzes" (1918) hatte Nernst eine zusammenfassende Darstellung aller dieser Untersuchungen gegeben und einige Betrachtungen allgemeinster Art daran geknüpft. So spricht er die Überzeugung aus, daß mit der Aufstellung dieses Satzes die Thermodynamik zu einem Abschluß gekommen ist und daß es weitere Hauptsätze der Wärmelehre neben den nunmehr vorhandenen dreien nicht geben kann.

Mit Ausbruch des Krieges 1914 wurde Nernsts Tätigkeit an der Berliner Universität jäh unterbrochen. Er selbst stellte sich sogleich der Heeresverwaltung zur Verfügung und war für sie mit chemischen Arbeiten beschäftigt. Später wandte er sich im Auftrage der Kaiser-Wilhelm-

Gesellschaft für Kriegswissenschaft Fragen der inneren und äußeren Ballistik zu. Im Vordergrund des Interesses stand hier der Minenwerfer, bei dem Erscheinungen beim Verbrennungsvorgang im Rohr und Störungen bei der Rücklaufbremse Aufklärung forderten. In beiden Fällen erschien es Nernst als das Wesentlichste, zunächst experimentelle Unterlagen über den Verlauf des Druckes im Verbrennungsraum und in der Bremsflüssigkeit zu gewinnen. Es galt also, schnellverlaufende Drucke von beträchtlicher Höhe aufzuzeichnen und zwar unter dem erschwerenden Umstand, daß das Geschütz als Ganzes starken Erschütterungen ausgesetzt war. Die bei früheren Explosionsversuchen (1908) benutzte Spiegelmethode war daher nicht anwendbar und es mußten neue Wege gefunden werden. Nach nicht ganz befriedigenden Versuchen mit mechanischer Aufzeichnung wurde ein voller Erfolg mit einem Druckmeßapparat erzielt, in welchem ein gespannter Draht unter Einwirkung des Druckes gereckt wurde, während die dabei auftretenden reversiblen Widerstandsänderungen mit einem Oszillographen registriert wurden. In besonderen Arbeiten wurde die Grundlage des Verfahrens erörtert: die Widerstandsänderung von Reckdrähten verschiedenen Materials untersucht und die Bedingungen für verzerrungsfreie Aufzeichnung schnell veränderlicher Vorgänge, nämlich die hohe Eigenfrequenz des aufzeichnenden Organs, festgelegt.

Bereits während des Krieges und in erhöhtem Maße nach seiner Beendigung begann Nernst, sich intensiver mit Fragen der Quantentheorie zu beschäftigen. Daß sein Wärmesatz, der in gewissem Gegensatze zur klassischen Theorie stand, mit der Quantentheorie aufs beste vereinbar war, trug natürlich viel dazu bei, ihn die Bedeutung dieser Theorie in ihrer ganzen Tragweite erkennen zu lassen. Von nun an war er selbst eifrig bemüht, die letzten Konsequenzen aus ihr zu ziehen. Als bei der Prüfung des photochemischen Äquivalentgesetzes an der Chlor-Knallgas-Reaktion die Quantenausbeute wesentlich höher gefunden wurde als der Theorie entsprach, übernahm Nernst die von Bodenstein gemachte Annahme von Kettenreaktionen und zeigte, wie mit ihrer Hilfe Theorie und Beobachtung in Einklang zu bringen sind. Eine weitere Folgerung der Quantentheorie, die von Planck aufgestellte Hypothese einer Nullpunktsenergie der Materie, griff er ebenfalls auf, übertrug sie auf den Lichtäther und berechnete dessen Energieinhalt zu $0{,}36 \cdot 10^{16}$ gcal je cm^3. Bei der ungeheuerlichen Größe dieser verborgenen Energie im Vergleich zu allen uns sonst bekannten Energieänderungen ist es verständlich, daß zufällige Schwankungen in ihr der größten Wirkung fähig sind. So könnte, wie Wiechert (1921) annahm, der radioaktive Zerfall dadurch ausgelöst werden, aber ebensogut ist es denkbar, daß durch eine zufällige, besonders hohe Verdichtung der Nullpunktsenergie neue Atome gebildet werden, ein Vorgang, der dem allgemeinen Zerfall der Materie durch Strahlung und ihrer Dissipation im Raume entgegen verliefe. Auch bei manchen chemischen Reaktionen, bei denen die Schwankungen der Wärmebewegung nicht ausreichen, um den chemischen Umsatz einzuleiten, kann man vermuten (Polanyi 1920), daß die Schwankungen der Nullpunktenergie mitwirken und schließlich scheint es, als ob auch gewisse kosmische Erscheinungen ohne solche Nullpunktenergie nicht verständlich sein würden. Mit dieser Auffassung als Arbeitshypothese folgert nun Nernst weiter, daß alle potentielle Energie aus Nullpunktenergie besteht, daß also die Summe aller Nullpunktenergien eines Körpers identisch mit seinem Potential ist. Ein Körper, der im Schwerefelde fällt, würde hiernach die gewonnene kinetische Energie seinem eigenen Vorrat an Nullpunktenergie entnehmen. Selbst die Masse eines Körpers bestünde nur noch in aufgespeicherter Nullpunktenergie.

In engstem Zusammenhang mit diesen Betrachtungen über Zerfall und Bildung von Atomen, über Zerstrahlung der Materie und ihren Wiederaufbau stehen Untersuchungen über allgemeine kosmologische Fragen, denen sich Nernst in steigendem Maße widmete. Bei seinen Experimentaluntersuchungen hatte er die Zustandsvariablen in weitesten Grenzen variiert, insbesondere versucht, von den tiefsten Temperaturen bis zu den höchsten vorzudringen. Indessen ist hier den irdischen Mitteln eine recht beschränkte Grenze gesetzt. Extrem hohe Werte der Zustandsvariablen sind nur in Systemen mit extrem hoher Masse verwirklicht, wie sie sich als Weltkörper der astrophysikalischen Forschung darbieten. So wird die physikalische Chemie von selbst gedrängt, zur Lösung ihrer eigenen Probleme das kosmische Geschehen mit heranzuziehen. Umgekehrt können auch kosmische Probleme nur eine sinngemäße Lösung erwarten von einer Physik und Chemie, die sich auf diese Weise von der Enge irdischer Erfahrungen befreit hat. Eine der fundamentalsten Fragen der Astrophysik, nach der Energiequelle der Sterne hatte ein völlig neues Aussehen bekommen durch die Entdeckung der Radioaktivität und die Möglichkeit einer Umwandlung von Materie in Strahlung. Nernst geht von der Annahme aus, daß die ausgestrahlte Energie durch radioaktive Prozesse gedeckt wird, wobei allerdings das Vorhandensein transuranischer Elemente von höherer Zerfallsenergie vorausgesetzt werden muß, und berechnet daraus die Abhängigkeit der Emission eines Sternes von seinem Alter. Angewandt auf die Sonne ergibt sich ein Alter, das mit geologischen

Daten vereinbar ist. Eine starke Stütze für die Annahme eines radioaktiven Ursprungs der stellaren Energie erblickt er in dem Auftreten der kosmischen äußerst durchdringenden Strahlung, die nach Nernst von den transuranischen Elementen in den jungen Sternen und den aller Sternbildung vorausgehenden kosmischen Nebelwolken ausgesandt wird.

Auf das Weltganze angewendet, fordert die Irreversibilität der Vorgänge ebenso wie nach dem II. Hauptsatz auch die der Radioaktivität einen einseitigen Ablauf alles Geschehens. Das gefühlsmäßig Unbefriedigende dieser Folgerung hält Nernst nicht für zwingend. Die zur Umkehrung der radioaktiven Prozesse notwendigen Bedingungen sind allerdings nirgends im Weltraum erfüllt, da die Temperatur, die sich aus dem III. Hauptsatz dafür ergibt, viel höher ist als sie selbst im Innern der heißesten Sterne ist. Indessen gibt es noch eine andere Möglichkeit, nämlich die, daß dem Prozeß des Verschwindens der Materie bei jeder Energieumwandlung ein Prozeß der Atombildung aus dem Äther gegenüber steht, bei dem hauptsächlich Atome der transuranischen Elemente, und zwar durch Schwankungen der Nullpunktenergie gebildet werden. So wäre ein zyklischer Weltlauf gesichert und der einseitige Ablauf hätte nur für Teilgebiete des Weltganzen einen Sinn.

In einer kleinen Schrift „Das Weltgebäude im Lichte der neuen Forschung" (1921) faßt Nernst die Gedanken über diese Frage zusammen und vertritt in einem Vortrag „Über das Auftreten neuer Sterne" (1922) die Anschauung, daß die roten Riesensterne im Laufe ihrer Entwicklung mehrmals Eruptionen gewaltigsten Ausmaßes erfahren, die wahrscheinlich Geburtsakte von Trabanten sind. Zu einer ganz allgemeinen Frage „Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze" äußert sich Nernst in seiner Berliner Rektoratsrede (1921). Nach Darlegung der Grenzen aller Naturgesetze und ihres Wahrscheinlichkeitscharakters wird die Möglichkeit erwogen, daß auch das Prinzip der Kausalität das Schicksal unserer Naturgesetze teilt, nämlich nicht mehr als eine im allgemeinen sehr gute Annäherung sein. Man könnte zwar mit dem Kausalitätsprinzip in seiner strengsten Form logisch operieren, müsse sich aber bewußt bleiben, daß man damit den Boden der Erfahrung verläßt.

Im Jahre 1922 wurde Nernst zum Präsidenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ernannt. Es war die schwerste Zeit für die deutsche Wissenschaft, in der die ernsteste Sorge um Erhaltung des Bestehenden jede Fortentwicklung hinderte. Trotzdem hat Nernst mit der Eingliederung der Reichsanstalt für Maß und Gewicht als Abteilung I und der Schaffung eines photochemischen Laboratoriums bleibende Spuren seines Wirkens hinterlassen. Indessen konnten ihn derartige Organisationsarbeiten nicht befriedigen. Angesichts des großen Verwaltungsapparates und der mannigfachen Inanspruchnahme durch eine dirigierende Tätigkeit, die in jenen Jahren noch größer und dringender war als in ruhigen Zeiten, mußte er befürchten, ganz seiner eigentlichen wissenschaftlichen Tätigkeit entzogen zu werden. Aber auch aus inneren Gründen mußte Nernst sich als nicht ganz am rechten Platze empfinden. Neben ihrer umfänglichen Forschungsarbeit hat die Reichsanstalt auch noch eine zweite nicht minder wichtige Aufgabe: dort, wo neue Gebiete erschlossen sind, soll sie die Fundamente sichern und weiter ausbauen, Zahlenwerte und Meßmethoden verbessern und für weitere wissenschaftliche und technische Forschung bereit stellen. Nernst aber war weit mehr Bahnbrecher als Ausbauender. Das bestimmte auch sein Verhältnis zur Meßtechnik. So viele schöne Meßmethoden er auch der Physik geschenkt hat, das Messen selbst galt ihm immer nur als Mittel zum Zweck. „Eine Messung, die zur Lösung eines Problems mehr als 10% Genauigkeit erfordert, soll man gar nicht erst anstellen", hat er einmal in jener Zeit geäußert. Das war gewiß scherzhaft übertrieben, haben doch seine eigene Bemühungen oft sehr viel größerer Genauigkeit gegolten. Aber der Kern ist echt Nernst: Die Frage, die an das Experiment gestellt wird, soll nicht zu ihrer eindeutigen Beantwortung der letzten Genauigkeit der Messung bedürfen. Einer Förderung der Meßtechnik um ihrer selbst willen oder für fernerliegende Zwecke brachte er wenig Verständnis entgegen.

So gab er bereits nach zwei Jahren sein Amt an der Reichsanstalt wieder auf und kehrte als Nachfolger von H. Rubens in der Professur für Physik an die Berliner Universität zurück. Alsbald nahm er auch seine physikalisch-chemischen Arbeiten wieder auf. Seit längerer Zeit hatten Abweichungen vom Massenwirkungsgesetz bei den stark dissoziierten Elektrolyten, die mit der sonst aufs beste bewährten Ionentheorie der Lösungen schwer zu vereinbaren waren, die Theoretiker stark beschäftigt. Den Weg zur Erklärung glaubte man in zwei neuen Annahmen gefunden zu haben.

1. Die starken Elektrolyte sind nicht weitgehend, wie Arrhenius meinte, sondern stets vollständig ionisiert.
2. Die elektrostatischen Anziehungen zwischen den Ionen bewirken eine Verminderung des osmotischen Druckes.

Eine umfassende Theorie auf dieser Grundlage hatte Debye (1923–25) aufgestellt und zum Teil auch quantitativ bestätigen können. Eine Folgerung daraus war die, daß die Verdünnungswärme der starken Elektrolyte immer positiv sein muß. Hier setzte Nernst ein, indem er exakte Messungen der Verdünnungswärme bis zu äußerst geringen Konzentrationen ausführte. Zur Bestimmung der sehr geringen Wärmetönungen diente ein Differentialkalorimeter, in dem die Temperaturdifferenz mit einer Thermosäule gemessen wurde, die aus 100 Einzelelementen bestand. Das Ergebnis war, daß sowohl positive wie negative Verdünnungswärmen auftraten, was Nernst so erklärte, daß die Verdünnungswärme sich additiv zusammensetzt aus einem negativen Anteil, der der Dissoziation des nicht vollkommen dissoziierten Elektrolyten und einem positiven, der der elektrostatischen Wirkung zuzuschreiben ist.

Neben diesen physikalisch-chemischen Arbeiten fesselt ihn noch einmal ein technisches Problem: die Herstellung eines Flügels, bei dem die Saitenschwingungen in elektrische Schwingungen und diese nach Verstärkung durch einen Lautsprecher in Töne umgesetzt werden. So entsteht der „Neo-Bechstein", der sich durch Klangschönheit besonders der höchsten und tiefsten Töne auszeichnet.

Im Jahre 1933 trat Nernst nach Erreichung der Altersgrenze von seinem Amt zurück und lebte seitdem vorzugsweise auf seinem Gute.

Das vollendete Werk, das Nernst hinterlassen hat, ist der Ausdruck seiner ganzen Persönlichkeit: eines der bedeutendsten Forscher unserer Zeit, dessen überaus fruchtbare und erfolgreiche Tätigkeit in einer glücklichen Vereinigung hervorragender Eigenschaften begründet ist. Seine auf natürlicher Begabung beruhenden Fähigkeiten hat er früh virtuos zu entfalten und bis in sein Alter ungeschwächt zu erhalten verstanden. Eine lebhafte Phantasie und Kombinationsgabe ließen ihn schnell ein Problem erfassen und mit sicherem Blick die Möglichkeiten zu seiner Lösung erkennen. Theoretisches wie experimentelles Können standen ihm gleichermaßen zur Verfügung, kühnes Projektieren ebenso wie nüchterne Kritik. Ein besonderes Talent war es, solche Probleme anzugreifen, die zugleich eine hohe technische Bedeutung hatten. Viele Fragen der technischen Großindustrie sind erst durch seine Arbeiten wissenschaftlich erfaßbar, d. h. berechenbar geworden. So hat sein Wirken sich auf ungewöhnlich weite Kreise erstreckt. Ganz wesentlich trug aber zu der Verbreitung seiner Ideen und Methoden die gewaltige Zahl von Schülern bei, die stolz darauf sind, Nernst als ihren Meister zu bezeichnen und von denen heute viele an hervorragender Stelle in Wissenschaft und Technik tätig sind. Auf noch weitere Kreise haben seine Lehrbücher gewirkt. Vor allem sein „Lehrbuch der theoretischen Chemie", das seit seinem ersten Erscheinen (1893) in ständiger Wandlung mit dem Fortschreiten der physikalischen Chemie zahllosen Studierenden und auch Männern der Praxis als Leitfaden gedient hat. Daneben hat auch seine mit A. Schoenfließ (1895) verfaßte „Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften" vielen das Verständnis für die theoretischen Arbeiten erst erschlossen. Von 1896–1900 war Nernst beteiligt an der Herausgabe der Zeitschrift für Elektrochemie. Von den zahlreichen wissenschaftlichen Gesellschaften, denen er angehörte, sei die Deutsche Bunsen-Gesellschaft für angewandte physikalische Chemie hervorgehoben, deren Mitbegründer er war und die ihm 1914 ihre höchste Auszeichnung, die Bunsendenkmünze verlieh. Auch um andere wissenschaftliche Organisationen hat er sich vielfach verdient gemacht. So geht auf ihn die Entstehung des sog. Lieben-Konzerns zurück, dessen Gründung er veranlaßte, um die Entwicklung und Herstellung der von R. v. Lieben erfundenen Verstärkerröhre zu fördern, deren große Bedeutung für Technik und Wissenschaft er sofort erkannte. Auch an der Begründung der Beobachtungsstation für durchdringende Strahlung auf dem Jungfraujoch war er maßgebend beteiligt und hat an dem Fortschritt der Arbeiten lebhaften Anteil genommen.

Nernst ist Nobelpreisträger des Jahres 1921, Besitzer des Ordens pour le mérite, Dr. med. h. c. und Dr. ing. eh. und Inhaber des Eisernen Kreuzes 1. und 2. Klasse. Die zahlreichen Ehrungen, die ihm zuteil wurden, zeigen, daß seine Bedeutung die Anerkennung seiner Zeit gefunden hat. Über sein Leben hinaus hat er sich aber in der Wissenschaft ein unvergängliches Denkmal errichtet, das die Erinnerung an seinen Namen in Verbindung mit einer der glänzendsten Entwicklungen der physikalischen Chemie der Nachwelt erhalten wird.

ABHANDLUNGEN

Über die praktische Reichweite der Sekundärelektronen radiumähnlicher Röntgenstrahlung

Von B. Heß und R. Jaeger

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Bei der Ionisationsmessung kurzwelliger Strahlung wie Röntgen- und Gammastrahlung in „Röntgen" (r) spielt für die Praxis die Frage der Wellenlängenunabhängigkeit der Meßkammer eine wichtige Rolle. In bezug auf die einzelnen Voraussetzungen kann auf das Schrifttum verwiesen werden.

Während bei langwelligen Röntgenstrahlen in der Hauptsache die Absorption der Kammerwand zu berücksichtigen ist, tritt bei kürzeren Wellen die Streuung und der Einfluß der Sekundärelektronen der Kammerwand mehr und mehr in den Vordergrund. Am deutlichsten wird dieser Einfluß bei der Messung der Radium-γ-Strahlung.

Die gleichen Bedingungen, die bei der Bestimmung sehr harter Röntgenstrahlung oder von Gammastrahlung in „Röntgen" einzuhalten sind, sind von der Messung der Eveschen Konstanten her bekannt.

Die erste Messung dieser Konstanten wurde mit einer sehr dünnwandigen Kammer in einem großen Luftraum gemacht (A. S. Eve 1911, 1914). Wie groß dieser streuende Luftraum gewählt werden muß, haben R. Schulze und W. Minder (1937) bei ihren Versuchen in der Deutschlandhalle festgestellt. Andererseits verläuft die Elektronenaustrittsstrahlung gemessen als Abhängigkeit des Ionisationsstromes von der der Strahlenquelle zugewandten Kammerwanddicke nach Untersuchungen von Kohlrausch und Schrödinger (1914), Reitz (1931), Albrecht (1931/32), Mayneord (1934), Friedrich und R. Schulze (1935), K. G. Zimmer und Griffith (1935), Kaye und Binks (1936) und H. Smereker (1937) gemäß Abb. 1. Der Maximalwert des Ionisierungsstromes ist erreicht, wenn die maximale Reichweite der Streuelektronen in Richtung des Primärstrahls der Wanddicke entspricht, wenn also sämtliche Streuelektronen voll ausgenutzt werden. In diesem Fall messen die dünnwandige Kammer in dem genügend großen Luftraum und die „luftäquivalente" Kammer von 3–4 mm Graphitdicke die Gammastrahlung richtig im Sinne der Definition des „Röntgen". Unterhalb der Distanzen von 10 m vom Präparat war es mit der dünnwandigen Kammer nicht möglich, richtige Werte zu erhalten. Die Fehler lagen in verschiedenem Sinne, je nachdem die ungenügende Zahl der Streuelektronen oder auch ihre inhomogene Verteilung ausschlaggebend waren.

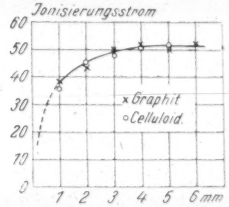


Abb. 1. Abhängigkeit des Ionisierungsstroms von der Kammerwanddicke bei Radium-γ-Strahlung nach R. Schulze und W. Minder.

Ein ähnlicher durch die Reichweite der Streuelektronen verursachter Einfluß der Kammerwanddicke wie bei Messung der Gammastrahlung muß auch bei harten Röntgenstrahlen auftreten, so daß man aus derartigen Messungen Schlüsse auf die maximale Reichweite der Streuelektronen ziehen kann. Vor einiger Zeit war es möglich, einige dahingehende Messungen an einer Röntgenanlage für 1 Million Volt und 5 mA auszuführen, die für verschiedene Untersuchungen von den Siemens-Reiniger Werken zur Verfügung gestellt worden war (vgl. F. Haenisch, K. Lasser, A. Eisl und W. Rump (1940), R. Jaeger und A. Trost (1940), A. Nitschke (1940).

Die Messungen wurden in ähnlicher Weise vorgenommen, wie sie an Gammastrahlen von den obengenannten Autoren und an Röntgenstrahlen von 500 kV von Herrmann und Jaeger (1933) ausgeführt worden waren. Derjenige Wert der Kammerwanddicke, bei der der maximale Ionisierungsstrom erreicht wird, gibt

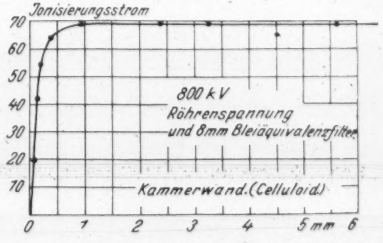


Abb. 2. Abhängigkeit des Ionisierungsstroms von der Kammerwanddicke bei 800 kV und 8 mm Bleiäquivalenzfilter.

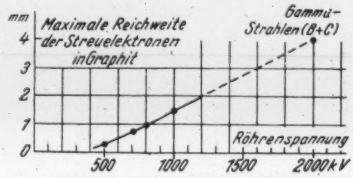


Abb. 3. Experimentell ermittelte maximale Reichweite der Streuelektronen von Röntgen- und Radium-γ-Strahlung.

einen Wert für die praktische maximale Reichweite der Streuelektronen. Da man nach Lenard annehmen kann, daß das Produkt aus Reichweite und Dichte des Stoffes konstant ist, lassen sich die gemessenen Werte auf Luftäquivalenz umrechnen. Im folgenden wird kurz diskutiert, wieweit die Ergebnisse mit den Kenntnissen über Energie und Reichweite der Sekundärelektronen in Einklang stehen. Zunächst ist in Abb. 2 ein Beispiel einer Messung mit Röntgenstrahlen von 800 kV und einer Filterung von rund 8 mm Bleiäquivalenz wiedergegeben. Die Kammerwand bestand aus Zellophan. Wie zu erwarten war, steigt der Ionisierungsstrom mit steigender Kammerwanddicke an. Er erreicht bei 1 mm seinen Endwert. Die Genauigkeit dieser Angabe kann auf rund 5 v. H. geschätzt werden. Eine Schwächung durch die Wand ist auch bei über 6 mm noch nicht erkennbar. Die Kurve entspricht der, die bei 500 kV von Herrmann und Jaeger (1933) gefunden wurde, wobei sich eine extreme Reichweite von 0,3 mm Zellon ergab. In der obigen Abb. 3 sind alle Meßergebnisse mit denen an Radium zusammengestellt. Die Meßpunkte sind mit einer Größe eingetragen, die etwa der bei der Ermittlung erreichbaren Genauigkeit entsprechen mag. Wie man sieht, steigt die Kammerwanddicke, die zur Erzielung der Elektronensättigung notwendig ist, mit steigender Strahlenhärte an. Der Wert für Gammastrahlung liegt aber noch beträchtlich höher als der für die 1000 kV-Strahlung gefundene Wert. Der Grund liegt, wie ein Blick auf das Spektrum der Röntgen- und Gammastrahlung erkennen läßt (Abb. 4), darin, daß sich außerhalb der kürzesten Wellenlänge des Bremsspektrums der 1000 kV-Strahlung noch einige intensive Linien der Radium C-Strahlung um 10 XE gruppieren. Dieser Wert würde sich etwa bei einer Röhrenspannung von 2 MV als effektive Wellenlänge ergeben.

Um zu sehen, wieweit sich die gefundenen Zahlen, wenn man sie auf Luftreichweiten umrechnet, den bekannten Werten entsprechen, sind in Abb. 5 einmal die Zahlen für die Reich-

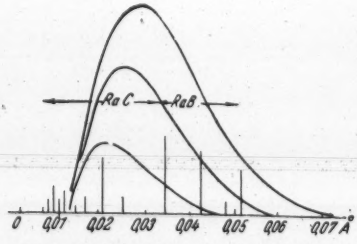


Abb. 4. Linienspektrum des *Ra* (*B*+*C*) und Bremsspektrum einer 1000-kV-Strahlung bei 3,5 und 10 mm *Pb* (nach Thibaud.)

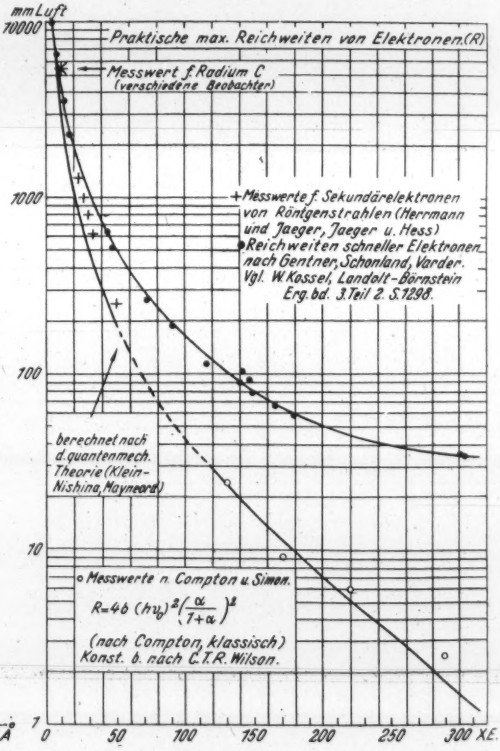


Abb. 5. Reichweiten schneller Elektronen und sekundärer Elektronen, gemessen und berechnet.

weite der Comptonelektronen nach den Messungen von Compton und Simon und die quantentheoretische Kurve

$$R_{cm} = 4\,b\,(h\nu_0)^2 \cdot \left(\frac{\alpha}{1+2\alpha}\right)^2$$

eingetragen (Wilson 1923). Dabei bedeuten b eine von Wilson angegebene Konstante, h das Plancksche Elementarquantum, ν_0 die Primärfrequenz, $\alpha = \frac{0{,}0242}{\lambda_0}$, wobei λ_0 die Primärwellenlänge ist.

Außerdem sind in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Primärstrahlung die Reichweiten schneller Elektronen nach der Zusammenstellung von W. Kossel in den Tabellen von Landolt-Börnstein aufgetragen. Die Kurve enthält die Werte von Gentner (1931), Schonland (1925) und Varder (1915). Die quantentheoretische Formel gibt für kürzeste Wellen Werte, die oberhalb der Reichweiten schneller Elektronen liegen. Für den Spektralbereich von rund 50 XE ab muß die relativistische Quantenmechanik berücksichtigt werden, wie es Klein und Nishina (1929) in ihren Berechnungen des Rückstoßkoeffizienten getan haben. Unter der Voraussetzung, daß die Reichweite der Rückstoßelektronen dem Quadrat der Energie proportional ist, berechnete Maycord (1934) die Reichweite eines unter dem Winkel Φ emittierten Rückstoßelektrons zu

$$R_\Phi = R_0 \cdot \left(\frac{2\alpha\sin^2\Theta/2}{1+2\alpha\sin^2\Theta/2}\right)^2$$

wobei R_0 die Reichweite des Photoelektrons, das zu α gehört, und Θ der Streuwinkel ist. Daraus wird das Verhältnis ξ der integralen Reichweite der Rückstoßelektronen zu der integralen Reichweite der Photoelektronen für gleiche totale Energieabsorption und gleiche Wellenlänge ermittelt zu

$$\xi = \int \frac{\pi e^4}{m^2c^2} f(\Theta)\,\frac{\sin\Theta}{\cos^2\Phi}\,\alpha\,(1+\alpha)\,(2\sin^2\Theta/2)^2 \cdot \left|\frac{2\alpha\sin^2\Theta/2}{1+2\alpha\sin^2\Theta/2}\right| \cdot \frac{d\Phi}{\sigma_0}.$$

Dieses Verhältnis ist in Abb. 6 als Funktion der Wellenlänge in XE aufgetragen. Die daraus ermittelten Reichweiten der Rückstoßelektronen

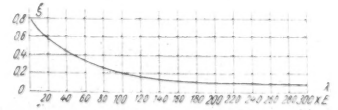


Abb. 6. Verhältnis der Reichweite der Rückstoßelektronen zur Reichweite der Photoelektronen bei gleicher absorbierter Energie nach der relativistischen Quantenmechanik. (Klein-Nishina, Maycord.)

sind in Abb. 5 als oberer Teil der Kurve gezeichnet, die mit dem langwelligen quantentheoretisch berechneten durch eine unterbrochene Linie verbunden ist.

Will man die Meßergebnisse in dieses Diagramm einzeichnen, so muß man zunächst den einzelnen Strahlungen mittlere Wellenlängen zuordnen, ein Verfahren, das mit erheblicher Unsicherheit behaftet ist. Liegt keine allzu starke Filterung vor, so kann erfahrungsgemäß im Mittel der 1,5- bis 2-fache Wert der Minimalwellenlänge als effektive Wellenlänge angenommen werden. Geht man so vor, so erhält man die durch Kreuze markierten Punkte. Dem Wert von 4 mm Graphit bzw. 5500 mm Luft für die Radiumgammastrahlung entspricht eine effektive Wellenlänge von rund 10 XE, was durchaus mit dem Mittelwert der kürzesten Linien zu vereinigen ist. Die Lage der Meßpunkte ist, wie Abb. 5 zeigt, mit den Erwartungen und den Ergebnissen experimenteller und theoretischer Betrachtungen nicht im Widerspruch.

Praktisch ergibt sich daraus die Folgerung, daß man für Röntgenstrahlen bis zu 1 MV Kammerwanddicken von 1,5–2 mm Graphit benötigt. Diese Bedingung erfüllen nur einige der üblichen Kammertypen. Die Kontrolle für die Elektronensättigung läßt sich aber stets leicht durch eine zweite Messung mit verstärkter Kammerwand ausführen.

Für freundliche Hilfe bei den Messungen sprechen wir Herrn Dr. A. Eisl von der Osram-K.-G., jetzt Telefunken-Röhrenwerk, unseren besten Dank aus, desgleichen den Siemens-Reiniger-Werken für die freundliche Überlassung der 1 MV-Röntgenanlage.

Zusammenfassung

Mit Röntgenstrahlen einer Minimalwellenlänge von 25 XE bis herab zu 12,3 XE wurden aus dem Sättigungswert der Elektronenaustrittsstrahlung die praktischen maximalen Reichweiten der Rückstoßelektronen gemessen und mit derjenigen von Radium C verglichen. Diese liegen noch wesentlich höher als die einer 1 Million-Volt-Strahlung, was sich aus der spektralen Verteilung erklärt. Eine Zusammenstellung der Meßwerte mit den Reichweiten schneller Elektronen in Abhängigkeit von der Primärwellenlänge sowie der Rückstoßelektronen nach Werten, die

aus der Klein-Nishinaschen quantenmechanischen Theorie von W. V. Mayneord berechnet wurden, zeigt, daß die Ergebnisse miteinander verträglich sind.

Für die Praxis ergeben sich Folgerungen für die notwendige Kammerwanddicke bei der Ionisationsmessung radiumähnlicher Röntgenstrahlung.

Literaturverzeichnis

1) E. Albrecht, Über die Absolutbestimmung der r-Einheit im Radiumgebiet. Strahlenther. **38**, 789, 1930.
2) E. Albrecht, Über die Absolutbestimmung der r-Einheit im Radiumgebiet. I. Strahlenther. **42**, 328, 1931; II. Strahlenther. **45**, 365, 1932.
3) W. H. Bragg und J. P. V. Madsen, Experimental investigation of the nature of γ-rays. Phil. Mag. (VI) **16**, 918, 1908.
4) A. S. Eve, On the number of ions produced by the Betarays and the Gammarays from Radium C. Phil. Mag. **22**, 551, 1911; On the Number of ions produced by the Gamma-Radiation from Radium. Phil. Mag. **27**, 394, 1914.
5) W. Friedrich und R. Schulze, Neubestimmung der r-Einheit für Gammastrahlen. Strahlenther. **54**, 553, 1935.
6) W. Gentner, Untersuchungen an einer Lenard-Coolidge-Röhre. Ann. d. Phys. (5) **10**, 223, 1931.
7) F. Haenisch, K. Lasser, A. Eisl und W. Rump, Die Röntgentherapieanlage für 1 Million Volt Spannung im Allgemeinen Krankenhaus Hamburg-Barmbeck. Strahlenther. **68**, 357, 1940.
8) H. Herrmann und R. Jaeger, Über Absorptionskurven von Sekundärelektronen harter Röntgenstrahlen. Fortschr. Röntgenstr. **48**, Kongreßheft, S. 59, 1933.
9) R. Jaeger und A. Trost, Röntgenstrahlenschutzwerte von Blei, Beton, Baryt und Stahl bei Röhrenspannungen zwischen 400 und 1000 kV. ETZ. **61**, 1025, 1940.
10) G. W. C. Kaye und W. Binks, Dosierung von Gammastrahlung durch Ionisationsmessung. Strahlenther. **56**, 608, 1936.
11) O. Klein und Y. Nishina, Zeitschr. f. Phys. **52**, 853, 1929.
12) K. W. F. Kohlrausch und E. Schrödinger, Über die weiche (β-) Sekundärstrahlung von γ-Strahlen. Wiener Sitzungsber. **123**, II, 1319, 1914.
13) W. Kossel, in: Landolt-Börnstein, Phys.-chem. Tabellen, Erg.-Bd. 3, Teil 2, Berlin, Verlag J. Springer.
14) J. P. V. Madsen, Secondary γ-radiation. Phil. Mag. (VI) **17**, 423, 1909.
15) W. V. Mayneord, The physical basis of the biological effects of high voltage radiations. Proc. Roy. Soc. (A) **146**, 867, 1934.
16) W. Minder, Radiumdosimetrie. Wien 1941, J. Springer.
17) A. Nitschke, Eine besonders leistungsstarke Röntgentherapieanlage für 1,2 MV. ETZ. **61**, 441, 1940.
18) A. Z. Reitz, Die Evesche Konstante. Zeitschrift f. Phys. **69**, 259, 1931.
19) P. F. J. Schonland, The Passage of Cathode Rays through Matter. Proc. Roy. Soc. (A) **108**, 187, 1925.
20) R. Schulze und W. Minder, Experimentelle Beiträge zum Problem der Luftäquivalenz bei Gammastrahlenmessung. Helv. phys. Acta **10**, 403, 1937.
21) S. Skobelzyn, Richtungsverteilung der von gestreuten γ-Strahlen erzeugten Rückstoßstrahlen. Zeitschr. f. Phys. **65**, 773, 1930.
22) H. Smereker, Untersuchung der Strahlungsintensität in der Nähe radioaktiver Präparate mit dünnwandigen Kammern. Strahlenther. **58**, 267, 1937.
23) R. W. Varder, The Absorption of Homogeneous β-Rays. Phil. Mag. (VI) **29**, 725, 1915.
24) C. T. R. Wilson, Investigation on X-Rays and Beta-Rays by the cloud method. Proc. Roy. Soc. (A) **104**, 192, 1923.
25) K. G. Zimmer und H. Griffith, Dosenverteilung beim kreisförmigen Oberflächenapplikator. Strahlenther. **52**, 671, 1935.

Berlin-Charlottenburg, Januar 1942.

(Eingegangen am 23. Januar 1942)

Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich 10 h 45 min

Die Zahlen der Spalten 2 geben an, um wieviel in 10^{-9} des Wertes der Betrag der ausgestrahlten Frequenz vom Sollwert 1 000,000000 Hz abweicht. Die Abweichung wurde mittels der Quarzuhren der Reichsanstalt bestimmt.

1	2	1	2
Februar 1942		Februar 1942	
Tag	Abweichung	Tag	Abweichung
1.	—	15.	—
2.	+ 2	16.	— [1]
3.	+ 9	17.	+22
4.	+ 7	18.	+23
5.	+15	19.	+16
6.	+ 7	20.	+19
7.	+15	21.	+21
8.	—	22.	—
9.	0	23.	+22
10.	+ 6	24.	+23
11.	+ 9	25.	+14
12.	+17	26.	+16
13.	+ 3	27.	+25
14.	+10	28.	+21

[1]) Empfangsstörung.

Berlin-Charlottenburg, den 5. März 1942.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt,
Abt. II.

Im Auftrage:
A. Scheibe, U. Adelsberger

Über die Sekundäremission aufgedampfter Antimonschichten

Von P. Görlich

Die von uns angegebenen Antimon-Zäsium-Schichten haben bekanntlich eine ungewöhnlich große lichtelektrische Empfindlichkeit im sichtbaren Spektralbereich[1]). Im allgemeinen hat sich gezeigt, daß zusammengesetzte Schichten mit hoher lichtelektrischer Ausbeute auch eine hohe Sekundäremissionsausbeute ergeben. Es ist daher einzusehen, daß die Antimon-Zäsium-Schichten von verschiedener Seite auf ihre Sekundäremissionsausbeute untersucht wurden[2]). Das Ergebnis bestätigte für die Antimon-Zäsium-Schicht den Parallelismus beider Emissionsarten, woraus jedoch nicht geschlossen werden darf, daß auch die Emissionsmechanismen die gleichen sind.

Die von den verschiedenen Autoren angegebenen Werte für den Sekundäremissionskoeffizienten (SEK) weichen verhältnismäßig stark voneinander ab. Die Ursache hierfür liegt vermutlich darin, daß einmal die Herstellungsverfahren der zusammengesetzten Schichten verschiedene waren und daß zum anderen die prozentualen Zusammensetzungen der Schichten, die die verschiedenen Autoren verwendeten, voneinander abgewichen sein mögen. Offenbar ist außerdem für die Sekundäremission der Einfluß von Gasen auf die Schicht von größerer Bedeutung als für die lichtelektrische Emission. Wir hielten es daher für notwendig, einige aufklärende Untersuchungen an unlegierten aufgedampften *Sb*-Schichten durchzuführen [langwellige lichtelektrische Grenze von aufgedampftem *Sb* 307,5 mμ[3])], weil zu erwarten war, dadurch auch neue Erkenntnisse für die legierten Schichten zu gewinnen.

Es ergab sich, daß eine auf *Ag*-Unterlage aufgedampfte *Sb*-Schicht bei einer günstigsten Dicke der Aufdampfschicht einen unerwartet hohen maximalen SEK (δ_{max}) von 2,30 zeigt ($V_p = 120$ Volt). Nach größeren Primärspannungen zu sinkt der SEK nur langsam (vgl. Fig. 1), so daß aus dem flachen Verlauf der Kurve geschlossen werden kann, durch Einlagerung von Fremdatomen eine erhöhte Leitfähigkeit und damit eine größere Sekundäremissionsausbeute zu erzielen. Da natürlich als Einlagerungsmetalle neben den Edel- oder Schwermetallen auch Alkali- oder Erdalkalimetalle in Frage kommen können, scheint ein

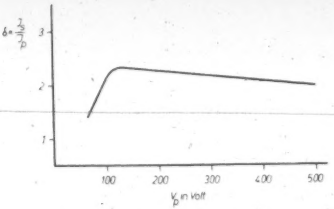


Fig. 1. SEK einer *Sb*-Aufdampfschicht.

unmittelbarer Zusammenhang mit den eingangs erwähnten *Sb*-Cs-Schichten gewonnen zu sein.

Der maximale SEK wurde bei einer Schichtdicke der *Sb*-Schicht von ~ 380 mμ gefunden, also bei einer Dicke, bei der die Schicht nicht

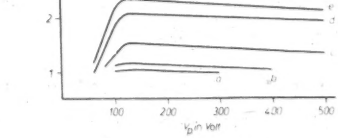


Fig. 2. SEK von *Sb*-Aufdampfschichten verschiedener Dicke.

mehr merklich lichtdurchlässig ist (siehe Fig. 2). Die Größe des SEK ist hierbei noch unterlageabhängig.

Bei größeren Schichtdicken nimmt der SEK wieder kleinere Werte an, um schließlich einen Wert von ~ 1,60 zu erreichen, der dann von der Schichtdicke und der Unterlage nicht mehr abhängt (vgl. Tabelle I).

Die geringe Leitfähigkeit des *Sb* scheint diesen Wert bei den von uns verwendeten Schichtdicken noch nicht zu beeinflussen. Die Abhängigkeit von der Unterlage ist aus Tabelle II zu ersehen.

Wir haben versucht, die Unterlageabhängigkeit mit der Annahme zu erklären, daß sich die Grenzschicht zwischen Unterlage und Aufdampfschicht je nach Art des verwendeten Materials mehr oder weniger scharf ausbildet. Es wird sich eine Schicht mit veränderlicher Fremdmetallkonzentration bilden, die von den Primärelektronen nur bei hinreichender Geschwindig-

1) P. Görlich, Journ. Opt. Soc. Am. **31**, 504, 1941; vgl. auch die Literaturzusammenstellung Zeitschr. f. Phys. **116**, 704, 1940.

2) N. Gopstein und D. Khorosh, Journ. techn. Phys. (russ.) **8**, 2103, 1938; B. Borzjak, Journ. techn. Phys. (russ.) **9**, 1380, 1939; P. Timofeev und J. Lunkova, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 20, 1940; N. Morgulis, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 1710, 1940; Mém. Phys. Ucrain. **8**, 83, 1939.

3) V. Middel, Zeitschr. f. Phys. **105**, 358, 1937.

Tabelle I.
SEK (δ) dicker *Sb*-Aufdampfschichten mit verschiedener Unterlage

Unterlage	SEK der *Sb*-Aufdampfschicht (Dicke > 380 mμ)	Mittelwert des SEK
Ag	1,55	1,56
	1,58	
	1,52	
	1,60	
Pt	1,50	
Cu	1,60	
Ni	1,58	
Pb	1,60	
Sn	1,50	
Zn	1,60	
Mo	1,58	
W	1,50	

Tabelle II.
SEK_{max} (δ_{max}) von *Sb*-Aufdampfschichten in Abhängigkeit von der Unterlage

Unterlage	Mittelwert des SEK_{max}	$V_{p\,max}$
Ag	2,30	120
Al	2,18	140
Cu	2,14	130
Pt	2,11	135
Zn	2,10	130
Sn	1,92	120
Pb	1,91	130
Ni	1,87	120
W	1,83	130
Mo	1,82	130

keit erreicht wird. Es ist nach unserer Meinung möglich, auch die Unterlageabhängigkeit beim äußeren lichtelektrischen Effekt, insbesondere bei den modernen zusammengesetzten Photokathoden, in gleicher Weise zu erklären. Die Untersuchung der *Ag*-Einlagerung in *Sb*-Schichten ergab nun in der Tat eine Steigerung der Sekundäremissionsausbeute, so daß die oben angedeutete Annahme eine Stütze erhält. Die Einlagerung von *Ag* oder die Verwendung von *Ag*-Legierungen scheint in den meisten Fällen zu einer vermehrten Absorption der Primär- und Sekundärelektronen zu führen[4]), wobei zum Erreichen der maximalen Emission die *Ag*-Konzentration in bestimmten Grenzen gehalten werden muß.

Wir halten es für zweckmäßig, an dieser Stelle eine Übersicht über die uns bekannte und bisher noch nicht zusammengefaßte Literatur zu geben, die die Unterlageabhängigkeit und die Schichtdickenabhängigkeit dünner Schichten auf Trägern betrifft.

4) Vgl. z. B. P. Görlich, Physik. Zeitschr. **42**, 129, 1941; J. Friedheim und G. Weiß, Naturwiss. **29**, 777, 1941.

Tabelle III.
a) Unterlageabhängigkeit

Schicht	Autor
Na auf *Ta*	P. L. Copeland[5])
Ag auf *Al*	J. F. Pesjatzki[6])
Be, *Cu* und *Ag* auf *Be*.	R. Suhrmann und W. Kundt[7])
Be auf verschiedener Unterlage	M. R. Warnecke und M. Lortie[8])
Pt auf *Al*	P. L. Copeland[9])

Frühere Literatur vgl. besonders Abschnitt I: Physik. Zeitschr. **42**, 129, 1941.

b) Schichtdickenabhängigkeit

Schicht	Autor
Th auf *W*	E. A. Coomes[10])
Ba auf *Mo*	J. H. de Boer und H. Bruining[11])
Ca auf *Ag*	P. Görlich[4])
Ag auf *Pt*	A. E. Hastings[12])
Alkalimetalle auf *Ni* ..	H. Mahl[13])
Al auf *Al*	A. Bojinesco[14])

Frühere Literatur vgl. besonders Abschnitt 6b: Physik. Zeitschr. **38**, 202, 1937.

In einer früheren Mitteilung[4]) konnten wir zeigen, daß aufgedampfte Erdalkalimetallschichten in einer Hochfrequenzglimmentladung (HGE) sensibilisiert werden können. Die gleiche Methode, auf die *Sb*-Aufdampfschichten angewandt, versagte. Abgesehen davon, daß wir die üblichen Methoden zur Entgasung der Versuchsröhren anwendeten, ist dieser Befund in Verbindung mit den Ergebnissen an aufgedampften Erdalkalimetallschichten nicht geeignet, die Meinung Bruinings[15]) zu stützen, daß der von uns an Erdalkalimetallschichten gefundene Effekt auf ungenügende Entgasung zurückzuführen sei.

Wird eine *Sb*-Aufdampfschicht mehrere Stunden der Atmosphäre ausgesetzt, so sinkt der SEK stark ab, z. B. fiel δ von 2,04 bei einer *Sb*-Schicht auf *Pt* nach 16stündiger Einwirkung der Atmosphäre auf $\delta = 1{,}32$. Hieraus ergibt sich, daß die Schichten ohne besondere Behandlung für technische Zwecke nicht genügen. Eine Steigerung des SEK ist jedoch durch anschließende Behandlung in einer HGE wieder möglich.

5) Phys. Rev. **53**, 328, 1938.
6) Journ. techn. Phys. (russ.) **9**, 188, 1939.
7) Naturwiss. **27**, 707, 1939.
8) Journ. phys. et le Radium **9**, 8, 1938.
9) Phys. Rev. **58**, 604, 1940.
10) Phys. Rev. **55**, 519, 1939.
11) Physica **6**, 941, 1939.
12) Phys. Rev. **57**, 695, 1940.
13) Jahrbuch der AEG.-Forschung **6**, 33, 1939.
14) C. R. **209**, 512, 1939.
15) H. Bruining, Physica **8**, 1161, 1941.

Hier bewirkt demnach die HGE nicht wie in den früher beschriebenen Fällen[4]) nur eine Strukturänderung, sondern es ist anzunehmen, daß auch das an der Schichtoberfläche angelagerte Gas durch die HGE losgetrommelt wird.

In diesem Zusammenhang scheint es uns zweckmäßig, eine besondere Beobachtung an aufgedampften *Sb*-Schichten mitzuteilen. Prins[16]) fand, daß dünne auf Zellulosenitratfilme aufgedampfte *Sb*-Schichten als „braunes *Sb*" in der amorphen Phase niedergeschlagen werden, dicke hingegen als „blaues *Sb*" in der kristallinen Phase. *Sb*-Schichten mittlerer Dicke, die zunächst in der amorphen Phase vorhanden sind, gehen nach einigen Stunden in die kristalline Phase über. Wir konnten diese Beobachtungen zunächst bestätigen. Die kritische Dicke, bei der im Vakuum ein langsamer, einige Stunden währender Übergang von der amorphen Phase in die kristalline vor sich geht, ergab sich bei einer Lichtdurchlässigkeit der Schicht zwischen 20 und 30%. Dies gilt für *Sb*-Aufdampfschichten auf Glas. Die Umwandlung erfolgte jedoch spontan, sobald die amorphen *Sb*-Aufdampfschichten kritischer Dicke an Luft gebracht wurden. Wir sehen darin eine Bestätigung der Anschauung von Was[17]), daß adsorbierte Gase die Wirkung der Adhäsionskräfte herabsetzen und dadurch die Kristallisation fördern. Wegen der versuchstechnischen Schwierigkeiten konnte bisher nicht mit Sicherheit festgestellt werden, in welcher Phase die Sekundäremission größere Werte gibt.

Zusammenfassung

Es wird gezeigt, daß die Sekundäremission aufgedampfter *Sb*-Schichten von der Dicke der *Sb*-Schicht und der Unterlage abhängt. Erst bei Schichtdicken $\gg 380\ m\mu$ nimmt der SEK einen konstanten Wert an und wird unabhängig von der Unterlage. Die technische Brauchbarkeit der Schichten wird kurz besprochen.

Anhang

Erste Fortsetzung der Literaturzusammenstellung über Legierungskathoden (vgl. Zeitschr. f. Phys. **116**, 794, 1940).

a) Untersuchungen über äußeren lichtelektrischen Effekt: N. Morgulis und B. Djatlovitzkaja, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 657, 1940; A. Gurevich, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 943, 1940; R. Kollath, Ann. **39**, 59, 1941; P. Borzjak, Journ. techn. Phys. (russ.) **9**, 1380, 1939; N. Chlebnikov, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 1908, 1940; N. Chlebnikov und P. Sinitzin, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 1913, 1940; J. Kuschnir, E. Weinrib und V. Gontscharov, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 1197, 1940; N. Chlebnikov, Fortschr. phys. Wiss. (russ.) **24**, 163, 1940; W. Kluge, ATM., Mai 1941; P. Görlich, Journ. Opt. Soc. Am. **31**, 504, 1941; M. Katz und R. Solomonjuk, Journ. techn. Phys. (russ.) **11**, 483, 1941.

b) Sekundäremission: P. Borzjak, l. c.; N. Morgulis, Mém. Phys. Ucrain. **8**, 83, 1939; H. Geest, Zeitschr. f. Hochfr. u. Elektroak. **57**, 75, 1941; P. Timofeev und J. Lunkova, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 20, 1940; N. Morgulis, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 1710, 1940.

c) Bildwandler, Speicherrohre mit und ohne Vorabbildung und Bildsondenrohre: E. Brüche und R. Recknagel, Systematik der Elektronengeräte, 1941.

e) Meßtechnik: A. A. Novikov, Savodsk. Labor. (russ.) **9**, 750, 1940; H. Schulz, Physik in regelmäß. Ber. **9**, 15, 1941.

g) Untersuchungen über inneren lichtelektrischen Effekt, Halbleiter und Struktur: S. Lukjanov und J. Mazover, Journ. exp. theor. Phys. (russ.) **9**, 1459, 1939; S. Vekshinsky, Journ. techn. Phys. (russ.) **10**, 1395, 1940.

Wiederum gebührt Herrn W. Lang an dieser Stelle besonderer Dank für seine tätige Mithilfe.

Dresden, im Februar 1942.

(Eingegangen 13. Februar 1942)

16) J. A. Prins, Nature **131**, 760, 1933; Trans. Faraday Soc. **33**, 110, 1937.

17) D. A. Was, Physica **6**, 382, 1939.

Ein erprobter Photoregistrierer

Von W. Kolhörster und K. Lange

Mitteilung aus dem Institut für Höhenstrahlenforschung der Universität Berlin, Berlin-Dahlem

Mit Tafel XV

In dieser Zeitschrift[1]) hatten wir bereits die Konstruktion eines erprobten Druckregistrierers beschrieben. Er dient dazu, Stöße von Zählrohren oder andere Impulse zu summieren und in gewünschten Zeitabständen zu drucken. Das Gerät hat den Vorteil, für kurzzeitige ebenso wie für Dauermessungen gleich gut verwendbar zu sein, sich jederzeit im Betrieb überwachen zu lassen und das Ergebnis sofort nach Ablauf der Beobachtungszeit gedruckt zu liefern. Außerdem ist die Registrierung durch Verwendung von Morsestreifen sehr billig. Wenn man indessen eine größere Anzahl von Registrierungen betreibt – im Dahlemer Institut laufen zeitweilig bis 20 –, so sind eine entsprechende Anzahl von Druckzählern wegen der Platzfrage nicht leicht

1) W. Kolhörster und K. Lange, Physik. Zeitschr. **42**, 341, 1941.

unterzubringen. Dann empfiehlt sich die photographische Registrierung, bei der man sämtliche Zählwerke in den gewünschten Zeitabständen auf ein einziges Filmbild gleichzeitig photographiert. Wir haben daher auch einen photographischen Registrierzähler entwickelt, der sich ebenso wie der Druckzähler schon seit einigen Jahren bestens bewährt hat. Die Figuren 1 und 2 zeigen diesen Photoregistrierer und seine Konstruktion bei abgenommenem Deckel und ausgezogenen Seitenwänden.

Das Prinzip des Registrierers besteht darin, die Angaben von Rollenzählwerken nach Maßgabe einer Kontaktuhr in bestimmten Zeitabständen zu photographieren. Als Rollenzählwerke bzw. Addierer sind Telephongesprächszähler verwendet worden, weil sie sich infolge ihrer kleinen Raumabmessungen bequem zu einem Bündel verpacken lassen. Telephongesprächszähler können zwar nur eine Stoßfolge von etwa 10/Sek. zählen, indessen genügt eine dreifache Untersetzung von 1 : 8 bei Höhenstrahlenmessungen vollauf, um selbst bei diesen langsam laufenden Zählwerken keine Verluste aufkommen zu lassen. Solche Untersetzer nach dem bewährten Prinzip von E. Forsman[2]) werden hier in alle Verstärker gleich von vornherein eingebaut. Ihre Zeitkonstante ist besser als 10^{-5} Sek., so daß die Verstärker den Anforderungen, die an eine exakte Zählung zu stellen sind, völlig entsprechen. In dem Gerät sind 16 Telephongesprächszähler einer älteren Type verwendet worden, während von den neuen, kleineren Zählern 25 in denselben Abmessungen unterzubringen sind. Bei Bedarf können diese ohne weiteres an Stelle des 16er-Paketes eingesetzt werden. In die Ebene der Rollenzähler ist noch das Zifferblatt einer Synchronuhr gestellt, so daß gleichzeitig auf jedem Bild auch die Uhrzeit erscheint. Die zur Belichtung erforderliche Lichtstärke wird von zwei kleinen 40 Watt/120 Volt-Glühlampen geliefert, die mit Überspannung brennen. Infolge besonderer Schaltung wird erreicht, daß beim Ausfall einer Lampe die zweite allein noch genügend Lichtstärke zur Exposition liefert. Die Lampen sind über kleine, im Gerät untergebrachte Widerstände an das Wechselstromnetz von 220 Volt derart angeschlossen, daß beim Brennen beider Lampen eine Überspannung von etwa 55 Proz., beim Ausfall einer Lampe 68 Proz. Überspannung herrscht. Um zu zeigen, daß die Exposition auch mit einer Lampe ausreicht, sind in der Figur 3 das erste Bild mit beiden Lampen, die nächsten zwei allein mit der linken, die beiden weiteren allein mit der rechten und die letzten beiden wiederum mit beiden Lampen aufgenommen. Man sieht, daß der Film auch mit einer Lampe noch ausreichend durchexponiert wird. Es hat sich ferner gezeigt, daß diese Kurzzeitbeanspruchung den Lampen über Jahre hinaus nichts ausmachen; jedenfalls ist bisher noch keine Lampe durchgebrannt. Trotzdem glaubten wir, die hier vorgesehene Doppelbeleuchtung zur Sicherung der Ergebnisse verwenden zu müssen, zumal sie keinerlei besondere Erschwernisse bietet.

Der Lichtblitz für die Lampen wird von der in unserer ersten Veröffentlichung beschriebenen Kontaktuhr geliefert, über deren Cutax-Schalter der Belichtungsstrom fließt. Die Registriervorrichtung selbst ist aus einer Kinamo entwickelt worden. Durch Ausbau der unteren Filmtransportwalze und Anbringen eines Führungskanals für den Film läuft dieser durch einen feinen Schlitz, der in den Boden der Kamera eingearbeitet wurde, an einem unmittelbar unter dem Boden angebrachten Schneidemesser vorbei in eine Kassette. Diese liegt direkt unter der Filmkamera und ist etwas reichlich bemessen, um dem Film einen völlig reibungslosen Fall zu ermöglichen, gleichgültig, ob er gestreckt oder mit Neigung zum Rollen in die Kassette einläuft. Wir haben uns zu diesem Umbau erst entschlossen, als hierdurch eine wesentliche Ersparnis an Filmmaterial gegenüber der Verwendung der ungeänderten Kamera erreicht wurde. Bei dieser entstand nämlich ein ziemlich langes unbenutzbares Filmende bei jeder Entwicklung, da der Film über die untere Filmtransportwalze in die Filmkassette zur Friktionsspule geführt werden muß. Dieser Weg nimmt etwa 26 cm Film in Anspruch, die bei jeder Entwicklung ausfallen, und bedeutet rund 60 Proz. Materialverlust. Durch den Umbau ist er auf 10 Proz. verringert worden.

Den Antrieb der Filmkamera besorgt wiederum ein kleiner Synchronuhrenmotor (Schnellläufertyp) der AEG., der durch Kardangelenk mit der Kurbelwelle des Kinamos verbunden ist, so daß durch eine Umdrehung ein Bild vorgeschoben wird. Das Kardangelenk ist ausrückbar eingerichtet, um den Filmvorschub von Hand zu ermöglichen, ohne die Apparatur außer Takt zu bringen. Diese Einrichtung war nötig, um in Sonderfällen den Film gleich nach erfolgter Belichtung entwickeln zu können. Auch kann durch sie mit einer einzigen Umdrehung das freie Filmende zum Anfassen bei der Entwicklung ganz kurz gehalten werden. Ferner befindet sich noch auf der Antriebswelle eine Festklemmvorrichtung, mit welcher auf einfache Weise die Registrierung mit der Uhrzeit wieder

2) K. E. Forsman, Physik. Zeitschr. **39**, 410, 1938.

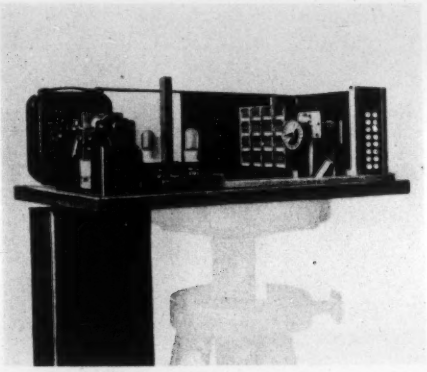


Fig. 1. Photoregistrierer, Deckel, vordere und rechte Schiebewand entfernt.

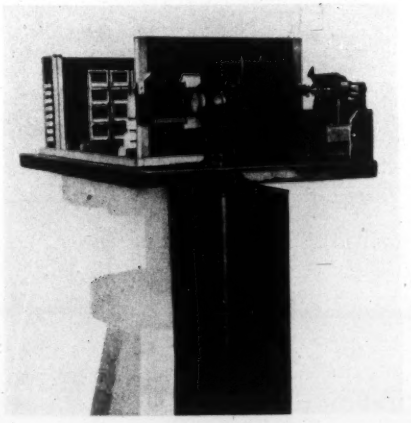


Fig. 2. Photoregistrierer, Deckel und linke Schiebewand entfernt.

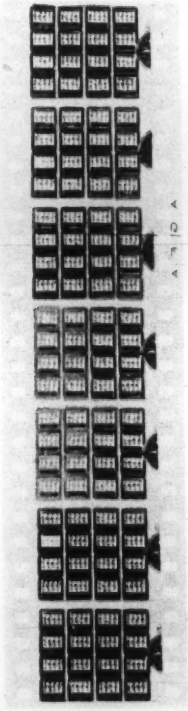


Fig. 3.

in Einklang zu bringen ist, wenn durch Stromausfall oder ähnliche Gründe die Photoregistrierung außer Takt gefallen sein sollte.

Unsere Schaltuhr ist auf Halbstundenkontakte für die Druckregistrierer eingestellt. Da der Photoregistrierer nur von Stunde zu Stunde belichten soll, befindet sich auf der Motorenwelle auch ein Kontaktnocken, der stündlich nur einmal den Stromimpuls zur Belichtung zuläßt. Man kann jede Belichtung an dem Aufleuchten eines roten Fensters im Deckel kontrollieren.

Sämtliche Widerstände und Zählwerkszuleitungen konnten im Innern des allseitig mit Schiebewänden ausgeführten Gehäuses untergebracht werden, um so den Raumbedarf möglichst klein zu halten. Die Auswechselung der Zählwerke ist durch die leichte Zerlegbarkeit und somit Freilegung der Zählwerke auch im Betrieb einfach und bequem durchführbar.

Sämtliche mechanischen Arbeiten wurden in der Institutswerkstatt ausgeführt. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Stifterverband sind wir für die Überlassung des Kinamos und der Mittel zur Ausführung der Apparaturen zu Dank verpflichtet.

Dahlem, 12. Februar 1942.

(Eingegangen 13. Februar 1942)

Zur Definition der Loschmidtschen Zahl

Von R. W. Pohl in Göttingen

In einem Körper der Masse M seien n Moleküle enthalten. Dann kann man das Verhältnis

$$\frac{\text{Molekülzahl } n}{\text{Masse } M} = N_L \tag{1}$$

als spezifische Molekülzahl definieren und auf experimentellem Wege ermitteln. Die experimentellen Ergebnisse lassen sich durch die Gleichungen

$$N_L = \frac{6{,}02 \cdot 10^{23}}{(M)\ \text{Gramm}} \tag{2}$$

oder

$$N_L = \frac{6{,}02 \cdot 10^{26}}{(M)\ \text{Kilogramm}} \tag{3}$$

zusammenfassen. In diesen Gleichungen bedeuten die eingeklammerten Buchstaben (M) die Molekulargewichte der untersuchten Stoffe, also, wie die Atomgewichte (A), definiert als dimensionslose Zahlen, z. B.

$$(M) = 2{,}016 \text{ für } H_2$$
$$(M) = 32{,}00 \text{ für } O_2$$
usw.

Der Nenner (M) Gramm in Gleichung (2) wird seit Jahrzehnten als Grammolekül oder kürzer Mol bezeichnet und als individuelle chemische Masseneinheit benutzt. Das gleiche gilt vom Kilogrammolekül oder Kilomol. So gibt man z. B. die Konzentration einer Lösung, definiert als das Verhältnis

$$c = \frac{\text{Masse } M \text{ des gelösten Stoffes}}{\text{Volumen } V \text{ des Lösungsmittels}} \tag{4}$$

oft in $\frac{\text{Kilomol}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Mol}}{\text{Liter}}$ an und nennt die Konzentration $c = 1\ \frac{\text{Kilomol}}{\text{m}^3} = 1\ \frac{\text{Mol}}{\text{Liter}}$ die einer „Normallösung".

Dann ein zweiter experimenteller Tatbestand: Im Volumen V sei ein ideales Gas mit der Masse M eingesperrt. Der Druck ist p, die absolute Temperatur T. Man findet

$$pV = M \cdot RT \tag{5}$$

Der Proportionalitätsfaktor, genannt Gaskonstante, wird experimentell bestimmt. Die experimentellen Ergebnisse lassen sich durch die Gleichungen

$$R = 8{,}31\ \frac{\text{Wattsek}}{(M)\ \text{Gramm} \cdot \text{Grad}} \tag{6}$$

oder

$$R = 8{,}31 \cdot 10^3\ \frac{\text{Wattsek}}{(M)\ \text{Kilogramm} \cdot \text{Grad}} \tag{7}$$

zusammenfassen[1]).

1) Selbstverständlich kann man die Masse M in der Gleichung (5) in jeder beliebigen Einheit messen, also nach Wahl in Gramm, Kilomol, englischen Pfund usw. Nur muß man dann der Gaskonstante R dieselbe Masseneinheit zugrunde legen. Die nötige Umrechnung ist an Hand der Gleichung (6) oder (7) mühelos zu bewerkstelligen.

Seltsamerweise bezeichnet man nach einem alten Brauch die Masse des eingesperrten Gases in Gleichung (5) meist nicht mit M, sondern mit n, weil sie die „Zahl der Masseneinheiten", z. B. Mole, darstellt. Mit der gleichen Begründung müßte man dann den Druck P und das Volumen V durch n' und n'' ersetzen, weil sie die Zahl der Druckeinheiten und die Zahl der Raumeinheiten darstellen! Durch die Bezeichnung der Masse mit dem Buchstaben n kommt es zu bedenklichen Verwechslungen der Gleichungen (5) und (9).

Endlich ersetzt man in der Gleichung (5) das Volumen V häufig durch das spezifische Volumen, also durch das Verhältnis Volumen V Masse M. Diesem Verhältnis gibt man einen eigenen Buchstaben (z. B. v) und benennt es nach einer speziellen Masseneinheit „Molvolumen". — Sicher sind das alles nur Äußerlichkeiten, aber sie fördern nicht gerade die Klarheit.

Sowohl die experimentell bestimmten spezifischen Molekülzahlen

$$N_L = \frac{6{,}02 \cdot 10^{23}}{\text{Mol}} \tag{2}$$

als auch die experimentell bestimmten Gaskonstanten

$$R = 8{,}31 \frac{\text{Wattsek}}{\text{Mol} \cdot \text{Grad}} \tag{6}$$

enthalten im Nenner Masseneinheiten, hingegen nicht das Verhältnis

$$\frac{R}{N_L} = k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Wattsek}}{\text{Grad}}, \tag{8}$$

die universelle Boltzmannsche Konstante.

Mit Hilfe der spezifischen Molekülzahl N_L kann man in dem experimentell gefundenen Gasgesetz (5) die Masse M des im Volumen V eingesperrten Gases durch die Zahl n der eingesperrten Moleküle ersetzen. Man erhält

$$p V = n \cdot k \cdot T \tag{9}$$

Dabei ist k die universelle Boltzmannsche Konstante.

Die hier kurz wiederholte Darstellung der Experimente dürfte allgemeine Zustimmung finden, denn die benutzten Begriffe sind klar definiert worden.

Nun erst kommen wir zum eigentlichen Gegenstand dieser kurzen Mitteilung, nämlich zur Loschmidtschen Zahl. Für diesen physikalischen Begriff werden im Schrifttum drei verschiedene Definitionen benutzt. Es sind die folgenden:

I.

Das Tabellenwerk von Landolt-Börnstein und viele Lehrbücher bezeichnen als Loschmidtsche Zahl das aus Gleichung (1) bekannte Verhältnis, denn sie bringen als seinen Wert

$$N_L = \frac{6{,}02 \cdot 10^{23}}{\text{Mol}} = \frac{6{,}02 \cdot 10^{26}}{\text{Kilomol}}. \tag{10}$$

In diesem ersten Fall ist also Loschmidtsche Zahl nur ein anderer Name für die spezifische Molekülzahl. Bei dieser Definition kann man in der üblichen Weise sagen: „Man findet experimentell in jedem Mol die gleiche Anzahl, nämlich $6{,}02 \cdot 10^{23}$, Moleküle". – Diese Definition der Loschmidtschen Zahl ist einwandfrei.

II.

Man bezeichnet in der Gleichung (10) nur den Zähler des experimentell gemessenen Verhältnisses als Loschmidtsche Zahl L, man schreibt also

$$L = 6{,}02 \cdot 10^{23}. \tag{11}$$

und

$$N_L = \frac{1}{m} = \frac{L}{(M)\ \text{Gramm}} \tag{12}$$

(m = Masse eines Moleküles.)

Auf diese Weise bringt man zwangsläufig in die physikalischen Gleichungen die Einheit Gramm hinein, und zwar gleichberechtigt mit Größen wie Druck, Volumen usw. – Beispiel:

Gaskinetisch findet man für die Zähigkeitskonstante

$$\eta = \frac{m \cdot \bar{c}}{4 \pi d^2} = \frac{1}{N_L} \cdot \frac{\bar{c}}{4 \pi d^2} \tag{13}$$

(m = Masse eines Gasmoleküls, d sein Durchmesser, $\bar{c}$ seine mittlere thermische Geschwindigkeit, $N_L = 1/m$ = spezifische Molekülzahl.)

Führt man nun mit Hilfe von Gleichung (12) an Stelle der spezifischen Molekülzahl N_L die Zahl $L = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ ein, so bekommt man

$$\eta = \frac{(M)\ \text{Gramm} \cdot \bar{c}}{L \cdot 4 \pi d^2} \tag{14}$$

wenn wir wieder mit (M) das dimensionslose Molekulargewicht bezeichnen, also zum Beispiel $(M) = 32$ für O_2.

Die Einführung der Einheit Gramm in die physikalischen Gleichungen wird allgemein als peinlich empfunden. Darum hilft man sich in zweierlei Weise: Entweder läßt man stillschweigend das Wort Gramm fort; dann sind die Gleichungen dimensionsfalsch. Oder man erfindet für (M) Gramm irgendeinen Namen oder Buchstaben, z. B. Molgewicht oder Molmasse. Damit wird das Wort Gramm aber nur getarnt und nicht aus der Gleichung herausgeschafft.

Diese zweite Definition, also Loschmidtsche Zahl L = experimentell gemessener Zahlenwert $6{,}02 \cdot 10^{23}$, ist begrifflich einwandfrei, doch ist der Einbau – vor allem der getarnte Einbau – der Einheit Gramm in die Gleichungen recht unzweckmäßig.

III.

Eine dritte Definition der Loschmidtschen Zahl L findet sich vor allem im physikalisch-chemischen Schrifttum, und zwar gekoppelt mit einer neuen Definition des Wortes Mol.

Man kann ohne Zweifel das Gasgesetz Gleichung (9) in die Form bringen:

$$p V = n' \cdot R_{\text{Dutzend}} \cdot T \tag{14}$$

$n' = \frac{n}{12}$ = Zahl der eingesperrten Moleküle, gemessen nach Kaufmannsart in der „Einheitsmenge" Dutzend = 12 Stück.

$$R_{\text{Dutzend}} = 12\, k = 1{,}66 \cdot 10^{-22} \frac{\text{Wattsek}}{\text{Grad}}.$$

12 k ist bis auf den Zahlenfaktor die universelle, stoffunabhängige Konstante k.

In Analogie zum Dutzend definieren nun etliche Autoren die Zahl $6{,}02 \cdot 10^{23}$ als „Einheitsmenge" und geben ihr gleichzeitig zwei Namen, nämlich Loschmidtsche Zahl L und Mol.

Das alte Wort Mol wird hier in einem ganz neuen Sinne benutzt, das muß man in diesem Abschnitt III genau beachten:

Mit diesen Festsetzungen bekommt das Gasgesetz Gleichung (9) die Form

$$pV = n^* R_L \cdot T \qquad (15)$$

$n^* = \dfrac{n}{6{,}02 \cdot 10^{23}}$ = Zahl der eingesperrten Moleküle, gemessen in der Einheitsmenge $L = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ Stück.

$$R_L = 6{,}02 \cdot 10^{23}\, k = 8{,}31 \frac{\text{Wattsek}}{\text{Grad}}. \qquad (16)$$

Auf diese Weise soll das Gasgesetz eine universelle Konstante erhalten. Das war ja aber doch schon längst mit der Gleichung

$$pV = n \cdot k \cdot T \qquad (9)$$

n = Zahl der eingesperrten Moleküle,

$$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Wattsek}}{\text{Grad}}$$

erreicht worden! Das wird immer erreicht, wenn man nicht die Masse M, sondern die Zahl n der eingesperrten Moleküle benutzt. Dazu braucht man nicht erst in Analogie zum Dutzend eine neue Einheitsmenge $L = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ Stück zu definieren!

Durch die Definition der Loschmidtschen Zahl als Einheitsmenge 1 Mol $= 6{,}02 \cdot 10^{23}$ Stück werden für den Leser Schwierigkeiten geschaffen:

1. Die Messung der Loschmidtschen Zahl ist eine wichtige experimentelle Aufgabe. Das zeigt ein Blick in jedes Tabellenwerk und in jedes physikalische Lehrbuch. Wie aber soll die Einheitsmenge 1 Dutzend $= 12$ Stück oder die Einheitsmenge 1 Mol $= 6{,}02 \cdot 10^{23}$ Stück Gegenstand einer Messung werden?

2. Die bekannte Gleichung

$$\mathrm{L} \cdot e = 9{,}65 \cdot 10^4 \text{ Amperesekunden}$$

besagt nun nicht mehr als die Trivialität

$$12\, e = 1{,}92 \cdot 10^{-18} \text{ Amperesekunden}.$$

Sie umfaßt durchaus nicht mehr die große experimentelle Entdeckung

$$\frac{\text{Ladung eines n-wertigen Ions}}{\text{Masse des Ions}} = \frac{q}{m} = \frac{ne}{m}$$

$$= n \cdot 9{,}65 \cdot 10^7 \frac{\text{Amperesek}}{\text{Kilomol}}, \qquad (16)$$

wobei nun Kilomol die alte Bedeutung (M) Kilogramm besitzt, also z. B. 32 Kilogramm O_2.

3. Die durch Definition festgelegte Gaskonstante R_L, also das $6{,}02 \cdot 10^{23}$fache der Boltzmannschen Konstante k, hat den Wert

$$R_L = 8{,}31 \cdot \frac{\text{Wattsek}}{\text{Grad}},$$

während die experimentell gemessene Gaskonstante

$$R = 8{,}31 \frac{\text{Wattsek}}{\text{Mol} \cdot \text{Grad}}$$

ist.

Auf die Gleichheit der Zahlenwerte gründet sich der Gebrauch, für R_L den Buchstaben R zu verwenden, der schon Jahrzehnte früher für die gemessene Gaskonstante Gleichung (6) eingeführt worden ist. Auf diese Weise entsteht der falsche Eindruck, als existiere außer der Boltzmannschen Konstante noch eine andere universelle Gaskonstante! Oder wollen wir in Zusammenstellungen der Naturkonstanten neben $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Wattsek/Grad allen Ernstes auch $12\, k = 1{,}66 \cdot 10^{-22}$ Wattsek/Grad als selbständige universelle Naturkonstante aufführen und mit einem besonderen Namen belegen?

Zu der hier geschilderten Lage kommt noch erschwerend hinzu, daß viele Autoren es unterlassen, die von ihnen gewählte Bedeutung der Worte Loschmidtsche Zahl und Mol anzugeben[2]). Die meisten benutzen zwei Definitionen nebeneinander. —

Aus dieser Lage möchte ich einen Ausweg empfehlen: Man verzichte fortan auf das Wort Loschmidtsche Zahl und benutze statt seiner die spezifische Molekülzahl N_L, also das Verhältnis

$$N_L = \frac{\text{Molekülzahl } n}{\text{Masse } M}.$$

Den experimentell gemessenen Wert dieser Stoffkonstanten merke man sich an Hand der „Loschmidtschen Beziehung"[3])

$$N_L = \frac{6{,}02 \cdot 10^{23}}{\text{Mol}} = \frac{6{,}02 \cdot 10^{26}}{\text{Kilomol}} \text{ usw.}$$

Mol $= (M)$ Gramm; (M) = Molekulargewicht, z. B. $(M) = 32$ für O_2.

2) Namen werden absichtlich nicht genannt. Diesen Ausführungen liegen keinerlei polemische Absichten zugrunde. Außerdem darf keiner, der im Glashaus sitzt, mit Steinen werfen: Ich selbst habe oft genug sowohl die Loschmidtsche Zahl flüchtig behandelt, als auch die gemessene Gaskonstante R gedankenlos als universelle Naturkonstante bezeichnet.

3) In entsprechender Weise sollte man die Gleichung (16) als Faradaysche Beziehung bezeichnen. — Beide Vorschläge verdanke ich Herrn Prof. F. Wolf, Karlsruhe.

Dann hat man immer dimensionsrichtige Gleichungen. Das Gasgesetz behält seine beiden gleichwertigen Formen (5) und (9), aber es wird nicht länger vorgetäuscht, daß es außer der Boltzmannschen Konstante k noch eine weitere universelle Gaskonstante gibt.

Ferner findet man dann in den Tabellen als universelle, d. h. stoffunabhängige Naturkonstanten z. B.

die elektrische Elementarladung	$e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Amperesek
das Plancksche Wirkungsquantum	$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Watt · Sek²
die Boltzmannsche Konstante	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Wattsek/Grad

Wichtige Stoffkonstanten merkt man sich mit Hilfe folgender Beziehungen

$$\text{Spezifische Molekülzahl } N_L = \frac{\text{Molekülzahl } n}{\text{Masse } M} = \frac{6{,}02 \cdot 10^{26}}{\text{Kilomol}}$$

Individuelle Massenheit Kilomol = (M) Kilogramm; (M) = Molekulargewicht, dimensionslose Zahl

$$\text{Masse } m \text{ eines Moleküls} = 1/N_L$$

Beispiel für O_2: ein Kilomol $O_2 = 32$ kg. Also

$$m_{O_2} = \frac{1 \text{ Kilomol}}{6{,}02 \cdot 10^{26}} = \frac{32 \text{ kg}}{6{,}02 \cdot 10^{26}} = 5{,}32 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$\mathfrak{N} = \frac{\text{Molekülzahl } n}{\text{Volumen } V} = \text{Dichte } \varrho \cdot N_L$$

Beispiel für O_2:

$$\varrho = 1{,}43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad N_L = \frac{6{,}02 \cdot 10^{26}}{32 \text{ kg}}; \quad \mathfrak{N}_{O_2} = \varrho N_L = 2{,}7 \cdot 10^{25}/\text{m}^3$$

für ideale Gase:

$$\text{Gaskonstante } R = \frac{\text{Druck } p \cdot \text{Vol. } V}{\text{Masse } M \cdot \text{Temp. } T} = 8{,}31 \cdot 10^3 \frac{\text{Wattsek}}{\text{Kilomol} \cdot \text{Grad}}$$

Beispiel für Luft:

$$1 \text{ Kilomol} = 29 \text{ kg}; \quad R_{\text{Luft}} = 8{,}31 \cdot 10^3 \frac{\text{Wattsek}}{29 \text{ kg} \cdot \text{Grad}} = 287 \frac{\text{Wattsek}}{\text{kg} \cdot \text{Grad}}$$

$$\text{Dichte } \varrho = \frac{\text{Masse } M}{\text{Volumen } V} = 0{,}0447 \frac{\text{Kilomol}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Spezifisches Volumen} = \frac{\text{Volumen } V}{\text{Masse } M} = 22{,}4 \frac{\text{m}^3}{\text{Kilomol}}$$

für $T = 0$ Grad C, $p = 760$ mm Hg-Säule

Beispiel für Luft:

$$1 \text{ Kilomol} = 29 \text{ kg}; \quad \varrho_{\text{Luft}} = 0{,}0447 \cdot 29 \text{ kg/m}^3 = 1{,}293 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{\text{Elektrische Elementarladung}}{\text{Masse eines Ions}} = \frac{e}{m} = N_L \cdot e = 9{,}65 \cdot 10^7 \frac{\text{Amperesek}}{\text{Kilomol}}$$

$$\text{Spezifische Ionenladung } \mathfrak{H} = \frac{\text{Ladung eines } n\text{-wertigen Ions}}{\text{Masse des Ions}} = \frac{q}{m} = \frac{ne}{m}$$

$$= 9{,}65 \cdot 10^7 \frac{\text{Amperesek}}{\text{kg-Äquivalent}}$$

(1/n Kilomol = 1 kg-Äquivalent)

Göttingen, im Februar 1942.

(Eingegangen 22. Februar 1942)

Bemerkung zur Entstehung des Elektronenmikroskops

Von A. Matthias

Aus zahlreichen Veröffentlichungen, die zu diesem Thema in den letzten Jahren erschienen sind, kann leicht der Eindruck entstehen, als sei die Elektronenmikroskopie das Ergebnis der Arbeiten einiger weniger Forschungsstätten der Industrie. Die Gerechtigkeit erfordert jedoch, darauf hinzuweisen, daß die heute benutzten Elektronenmikroskope und Verfahren in ihren wesentlichen Grundlagen von den Laboratorien der Technischen Hochschule Berlin[1]) ausgegangen sind. Um dies zu zeigen, sei eine kurze Zusammenstellung der von dort stammenden Entwicklungen und Erstveröffentlichungen gegeben:

1. Die ersten Messungen der Brennweiten magnetischer Elektronenlinsen und ihre Berechnung aus den Spulendaten auf Grund der allgemeinen Buschschen Theorie und Brennweitenformel. [E. Ruska und M. Knoll[2])].
2. Die erste bekanntgegebene und die erste veröffentlichte Beschreibung eines Elektronenmikroskops.

   Die Bekanntgabe erfolgte zugleich mit der Bekanntgabe der ersten Mikrophotogramme in einem Vortrag am 4. Juni 1931 [M. Knoll[3])]. In diesem Vortrag wurde bereits das Gerät mit Einzelheiten wie in der zugehörigen anschließenden Veröffentlichung [M. Knoll und E. Ruska[4])] ausführlich beschrieben. Letztere, 55 Druckseiten umfassende Arbeit enthält eine vollständige Beschreibung des Instruments, der benutzten elektrischen und magnetischen Linsen, Hinweise auf die grundsätzlich heute noch benutzten verbesserten Linsen, Diskussion und den experimentellen Nachweis von Linsenfehlern sowie zahlreiche, mit elektrischen und magnetischen Linsen erhaltene Mikrophotogramme, insbesondere vergrößerte Abbildungen emittierender und durchstrahlter Objekte mit magnetischen Linsen sowie die erste zweistufige Abbildung durchstrahlter Objekte mit einem Strahlengang, wie er dem Projektionsmikroskop der Lichtoptik entspricht. Kurz darauf wurde die De Broglie-Wellenlänge der Elektronen in die optische Auflösungsgleichung eingeführt und nach einer Abschätzung der zulässigen Apertur geschlossen, daß die theoretische Grenze des Auflösungsvermögens des Elektronenmikroskops um zwei bis drei Größenanordnungen höher als die des Lichtmikroskops liege [M. Knoll und E. Ruska[5])].
3. Die erste bekanntgegebene Beschreibung eines Emissionselektronenmikroskops mit Glühkathode.

   Die Ausführung dieses heute für Emissionsuntersuchungen fast ausschließlich benutzten (magnetischen) Instruments wurde in einem Vortrag vor dem Gauverein Niedersachsen der Physikalischen Gesellschaft am 14. Februar 1932 beschrieben [F. G. Houtermans[6])]; dabei wurden zahlreiche Emissionsbilder von Oxydkathoden im Lichtbild und am Instrument selbst vorgeführt.
4. Die Eisenummantelung der Elektronenlinse, und zwar bereits mit einem engen Spalt, wie er für hochauflösende magnetische Elektronenmikroskope erforderlich ist, sogar in einer heute noch fast ausschließlich benutzten Form.

   Eine teilweise Eisenummantelung wurde zuerst an Kathodenstrahloszillographen zur Feldraumverkürzung [D. Gabor[7])], eine vollständigere dann zur Brennweitenverkürzung [E. Ruska[8])] magnetischer Linsen eingeführt. Schließlich wurde durch passend geformte Polschuhe die heute gebräuchliche Form entwickelt [B. von Borries und E. Ruska[9])].
5. Der Vorschlag der für hochauflösende elektrische Elektronenmikroskope heute benutzten, aus drei Lochscheiben oder einer

1) Es handelt sich dabei in der Hauptsache um das Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule. Die Arbeit Anmerkung 6 ist im Physikalischen Institut der Technischen Hochschule (Prof. G. Hertz) entstanden. Patentanmeldungen sind grundsätzlich nicht erwähnt, obschon sie in einigen Fällen vor den genannten Veröffentlichungen angemeldet worden sind.

2) Zeitschr. f. techn. Phys. **12**, 389, 448, 1931.

3) Im Cranz-Kolloquium über Probleme der technischen Physik an der Technischen Hochschule Berlin.

4) Ann. d. Phys. **12**, 607, 1932 (Februar), eingegangen bei der Schriftleitung am 10. September 1931.

5) Zeitschr. f. Phys. **78**, 328, 1932.

6) M. Knoll, F. G. Houtermans und W. Schulze, Verh. d. Physik. Ges. (3) **13**, 23, 1932. Der Inhalt des Vortrags entspricht etwa der einige Monate später veröffentlichten Arbeit dieser Autoren: Zeitschr. f. Phys. **78**, 340, 1932.

7) Forschungsheft 1 der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen. Ver. El.-Werke, Berlin 1927, S. 15.

8) Vgl. E. Ruska und M. Knoll, Zeitschr. f. techn. Phys. **12**, 389 und 448, 1931.

9) Vgl. M. Knoll und E. Ruska, Zeitschr. f. Phys. **78**, 332, 1932 und E. Ruska, Zeitschr. f. Phys. **89**, S. 90 (1934).

ähnlichen Anordnung bestehenden spannungssymmetrischen elektrischen Elektronenlinse [M. Knoll[10])].

6. Der Gedanke einer Sichtbarmachung feiner Strukturen durch Aufdampfen einer hochemittierenden Schicht [F. G. Houtermans[11])], einer Strukturabbildung mittels reflektierter oder lichtelektrischer Elektronen [M. Knoll[11])] sowie der Gedanke einer Nachvergrößerung mit dem Lichtmikroskop [M. Knoll[12])].

7. Die erste Ausführung von Elektronenbildern und die Erörterung der für ihre gute Qualität notwendigen Bedingungen bei den noch heute wesentlichen Aufnahmeverfahren durch
   a) Abbildung von Strukturen in zusammenhängenden durchstrahlten Objekten [B. von Borries und E. Ruska[13])],
   b) Abbildung von Oberflächen mittels schneller reflektierter Elektronen [E. Ruska[14])].

8. Bau des ersten hoch auflösenden Elektronenmikroskops (E. Ruska[15])], mit dem das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops erreicht beziehungsweise überschritten wurde [E. Ruska[15]), E. Driest und H. O. Müller[16]), F. Krause[17])].

9. Erste Abbildung von Kolloiden mit sublichtmikroskopischer Auflösung [O. Beischer und F. Krause[18])].

10. Die ersten deutschen[19]) elektronenmikroskopischen Aufnahmen von Bakterien [F. Krause[20])].

Bei der Wertung der angeführten Literatur ist zu berücksichtigen, daß wegen der im Vergleich zu Industrielaboratorien geringen Mittel die Zahl der mit dem Elektronenmikroskop ausgeführten Untersuchungen und daher auch die der Veröffentlichungen relativ klein bleiben mußte. Es geht aber eindeutig daraus hervor, daß die Forschungsstellen an der Technischen Hochschule Berlin als erste ein elektrisches und magnetisches Elektronenmikroskop beschrieben und die meisten der heute benutzten Abbildungsprinzipien und Anordnungen selbst angegeben haben.

Aus diesen Anregungen haben sich inzwischen verschiedene Zweige der Elektronenmikroskopie entwickelt. Es ist also auch kein Zufall, daß die erfolgreiche industrielle Entwicklung hoch auflösender Elektronenmikroskope zuerst von ehemaligen Angehörigen dieser Forschungsstellen der Technischen Hochschule Berlin durchgeführt worden ist.

Babelsberg, Hochspannungsinstitut der TH Berlin, den 25. 7. 41.

(Eingegangen 10. Februar 1942)

10) Vgl. M. Knoll und E. Ruska, Ann. d. Phys. **12**, 625, 1932 (Februar); M. Knoll, Arch. f. techn. Messen, J. 834–851, 1932; B. von Borries und E. Ruska, Zeitschr. f. Phys. **76**, 653 (Anm. 1), 1932.

11) M. Knoll und E. Ruska, Zeitschr. f. Phys. **78**, 335, 1932.

12) M. Knoll und E. Ruska, Zeitschr. f. Phys. **78**, 336, 1932.

13) Zeitschr. f. Phys. **83**, 187, 1933.

14) Zeitschr. f. Phys. **83**, 492, 1933.

15) Zeitschr. f. Phys. **87**, 580, 1934.

16) Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie **52**, 53, 1935.

17) Naturwiss. **25**, 817, 1937.

18) Naturwiss. **25**, 825, 1937. An dieser Arbeit ist außerdem das Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie (Prof. P. Thiessen) beteiligt.

19) Vorher waren aus Belgien Bakterienaufnahmen von Marton veröffentlicht (Bull. Acad. Sci. belg. ser. 5, **23**, 672, 1937.)

20) Naturwiss. **25**, 817, 1937. (Vgl. auch Radiologica, Bd. 3, H. 3/4, S. 122, 1938.)

Experimenteller Nachweis von Umklapprozessen beim Übergang Normalleitung ⇌ Supraleitung im Magnetfeld

Von E. Justi

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg

1. Problemstellung

Angesichts der zahlreichen bekannten Analogien zwischen Supraleitung und Ferromagnetismus und der Schwierigkeiten einer rein atomistischen Deutung dieser Erscheinungen ist schon wiederholt vorgeschlagen worden, die zur Erklärung des Ferromagnetismus so erfolgreiche Theorie der Wandverschiebungs- und Drehprozesse von Elementarbezirken auch auf das Problem der Supraleitung zu übertragen. Versuche, die Existenz supraleitender Mikrobezirke durch ihre Induktionsstöße bei der Ausrichtung im äußeren Magnetfeld nachzuweisen, sind bisher negativ verlaufen (1), und damit fehlte einer solchen Supraleitungstheorie[1]) von vornherein die experimentelle Grundlage, wie sie der bekannte Barkhausen-Effekt (3) für das Ferromagnetikum bedeutet.

1) Der erste Versuch dieser Art ist die Dipoltheorie von J. J. Thomson (2), die jedoch nur noch historisches Interesse besitzen dürfte; vgl. die Kritik von W. Meissner im Hdb. d. Exp. Phys. XI/2, S. 275/276, 1935.

Vor kurzem wurde hier über die Auffindung von Supraleitern mit extrem hohen Sprungtemperaturen berichtet (4), von denen namentlich die Übergangskurve des *NbN* mit seiner bis zu mehreren Grad breiten Hysteresisschleife eindringlich an die bekannte Magnetisierungskurve des polykristallinen Eisens erinnert; diese ausgesprochene Hysteresis würde sich leicht durch irreversible Dreh- und Verschiebungsprozesse von supraleitenden Mikrobereichen erklären lassen, und eine nähere Überlegung zeigt, daß die gesuchten Umklappgeräusche beim Übergang Normalleitung $\rightleftharpoons$ Supraleitung im Magnetfeld vielleicht lediglich wegen mangelnder Verstärkung der Beobachtung entgangen sind. Klappt nämlich ein Weißscher Bezirk im Ferromagnetikum um, so wird ein größenordnungsmäßig stärkerer Induktionsstoß entstehen, als wenn ein supraleitender Mikrobezirk dieselbe Änderung erleidet, weil die Permeabilität des Ferromagnetikums etwa einige 10^2 beträgt, während die des Supraleiters nur zwischen 1 und 0 liegt. Von dieser Arbeitshypothese ausgehend, wurden erneut Versuche zum Nachweis supraleitender Elementarbezirke unternommen, über die nachstehend berichtet wird.

2. Versuchsanordnung

Die Einzelheiten der Versuchsanordnung sind demnach durch das Bestreben bestimmt, einerseits wesentlich höhere Verstärkungen zu erreichen, als man sie zur Untersuchung des Barkhausen-Effektes anzuwenden braucht. Andererseits wird es hierdurch notwendig, die Apparatur sorgfältig gegen elektrostatische und magnetische Störfelder abzuschirmen, damit die geringen zu erwartenden Effekte nicht im Störpegel verschwinden. Als geeigneter Verstärker erweist sich der Philips-Standard-Verstärker Nr. 2842 mit eingebautem Mikrophonvorverstärker, der bei 1,1 μV Eingangsspannung 12 Watt 95 Proz. unverzerrte Endleistung abgibt und dabei trotz Vollnetzanschluß einen Eigenstörpegel von nur -60 db besitzt. Er genügt ferner den Forderungen nach ausreichender Frequenzunabhängigkeit zwischen 50 und 10000 Hz, leichter Regelbarkeit und weitgehender Abschirmung auch der Eingangsleitung.

Um Störungen durch magnetische Einwirkungen (wie das Streufeld des Wechselstromnetzes) zu kompensieren, wurde die die Proben umgebende Suchspule in zwei wirkungsgleiche, gegensinnig hintereinandergeschaltete Wicklungen zerlegt; beispielsweise wurde ein *NbN*-Zylinder von 42 mm Länge und 8,8 mm Durchmesser mit 2×6000 Windungen 0,05 mm dickem, lackisoliertem *Cu*-Draht umwickelt, die eine resultierende Selbstinduktion von 0,092 *Hy* besitzen. Da nun einerseits der Gleichstromwiderstand R dieser Spulen von 3500 Ohm bei Zimmertemperatur (300° abs) auf 62 Ohm bei 20° abs abfällt und die Induktanz ωL bei mittleren Frequenzen nur etwa gleich groß wie R ist, der Anpassungswiderstand des Mikrophonvorvertärker-Eingangs andererseits 50000 Ohm beträgt, kann eine einigermaßen vollständige Energieübertragung von der Suchspule auf den Verstärkereingang nur durch Anwendung eines zweckmäßig konstruierten Anpassungstransformators erreicht werden. Allen Anforderungen genügte schließlich ein Transformator, auf dessen hochpermeables Joch aus Permalloy 6 primär 150 Windungen von 0,5 mm starkem *Cu*-Draht und sekundär 4200 Windungen von 0,09 mm starkem *Cu*-Draht gewickelt wurden. Gegen magnetische Störungen würde der Transformator durch ein vierfaches Gehäuse aus *Cu* und Permalloy sowie durch völlig geschlossene Ausführung des Joches geschützt. Elektrostatische Störfelder wurden durch metallische Abschirmung und Erdung der Verbindungsleitung Sekundärwicklung-Verstärkereingang, durch Erdung einer Mittelanzapfung der Primärwicklung und durch Einschaltung einer geerdeten Schutzwicklung zwischen Primär- und Sekundärwicklung vermieden. Infolge des geringen Widerstandes des Primärkreises war es nicht notwendig, das Vakuummantelgefäß selbst und die aus ihm herausführenden Drähte (zwei Suchspulendrähte, zwei Stromdrähte und zwei Potentialdrähte) abzuschirmen, was aus kältetechnischen Gründen schwer durchführbar gewesen wäre. Nach Beachtung dieser Vorsichtsmaßnahmen betrug der Störpegel nur noch etwa 15 Phon gegenüber anfänglich etwa 60 Phon.

Für die Versuche mit den *NbN*-Proben waren Temperaturen bis zu etwa 10° abs hinab erforderlich, die mit einem bereits beschriebenen Vakuummantelgefäß [Abb. 3 in (4)] in Verbindung mit einer rotierenden Leybold-Duplexpumpe Modell XII innerhalb von 3 Minuten nach Einhebern des siedenden H_2 erreicht wurden. Es gelang auch, die Sprungtemperatur des metallischen Niob (9,35° abs) ohne Zuhilfenahme von flüssigem *He* lediglich durch Anwendung von sublimierendem H_2 zu erreichen und zu unterschreiten. Durch Wahl eines tieferen Gefäßes mit engerem Hals und durch Anwendung eines umhüllenden N_2-Bades (77° abs) wurde die Wärmeeinstrahlung vermindert; als leistungsfähigstes verfügbares Pumpaggregat wurde die Gaedesche Dampfstrahlpumpe Modell L mit der oben genannten zweistufigen rotierenden Pumpe als Vorpumpe eingesetzt. Die Endtemperatur von etwa 9° abs wurde innerhalb von etwa 15 Minuten erreicht.

3. Herstellung der untersuchten Proben

Die beiden untersuchten *NbN*-Proben waren Zylinder von 42 mm Länge und 8,8 mm äußerem Durchmesser, die unter 7000 kg/cm² Druck aus technisch reinem *Nb*-Pulver von Siemens & Halske [Hauptverunreinigung etwa 4 Proz. *Ta* nach (4)] gepreßt, im Klebevakuum bei 1550° C gesintert und schließlich 5 Stunden in strömendem N_2 von 600 Torr Druck bei 1250° C nitriert worden waren. Die Zylinder wurden zwecks besserer Abkühlung mit einer durchgehenden Bohrung von 3 mm versehen, die mit Widiabohrern ausgeführt wurde, und die Mantelflächen mit Karborundscheiben geschliffen, um die Versuchskörper nicht der Gefahr einer Infektion durch Eisenteilchen auszusetzen, die Barkhausen-Geräusche erzeugen können. Der Widerstand dieser Proben (*NbN* 41/20 und 41/21) sinkt bei der Abkühlung von 273° auf 20,4° abs auf $r_{20} = 0{,}56$, die Hysteresisschleife des Übergangsgebietes erstreckt sich bei diesen Proben zwischen 4 und 20 Torr, H_2-Dampfdruck, entsprechend 10,6° bis 12,7° abs. Die chemische Analyse ergab eine Gewichtszunahme von 22,6 Proz. und einen Gehalt von 8,6 Proz. N_2 und 0,75 Proz. C.

Für die Messungen an Niobmetall stand 0,4 mm starkes Blech derselben Herkunft[2]) zur Verfügung, aus dem drei 20 mm breite Streifen geschnitten wurden, über die zwei Kopfhörerspulen gegensinnig verbunden als Suchspulen geschoben wurden. Das mittlere, von den beiden äußeren Streifen durch Papierzwischenlagen isolierte Blech trug an seinen Enden in 35 mm Entfernung Strom- und Spannungsdrähte zur Beobachtung des Eintrittes der Supraleitung. Das Widerstandsverhältnis dieser Probe *Nb* 42/10 ist mit $r_{20} = 0{,}35$ im Verhältnis zur Reinheit noch recht groß, hätte aber wohl durch sorgfältigere Temperung noch vermindert werden können. Bei der weitgehenden Unabhängigkeit der Sprungkurve von mechanischen Verformungen bestand zu weiteren Temperungsversuchen kein Anlaß.

4. Versuchsergebnisse für *NbN*

Bei den ersten Leerversuchen entstanden bei Annäherung eines Hufeisenmagneten an die Probe laute Geräusche, auch wenn diese noch normalleitend war. Diese Erscheinung erklärte sich durch die Zitterbewegungen des Vakuummantelgefäßes und der Suchspule relativ zum Magnetfeld. Nachdem die anfangs starre Verbindung zwischen diesem Gefäß und der den Wasserstoffsiededruck erniedrigenden rotierenden Duplexpumpe durch einen besonders weichen, in seiner Mitte festgeklemmten Gummischlauch ersetzt und das Vakummantelgefäß selbst möglichst erschütterungsfrei aufgestellt war, verschwanden diese Störgeräusche. Bei sinkender Temperatur wurden die gesuchten Umklappgeräusche erst dann deutlich hörbar, wenn der Ohmsche Widerstand auf einen kleinen Bruchteil gefallen war. Sie erreichten ihre größte Lautstärke, wenn der Lichtzeiger des Galvanometers keinen Spannungsabfall mehr erkennen ließ und wurden unterhalb der Temperatur des völlig verschwindenden elektrischen Widerstandes wieder unhörbar. Die Lautstärke der Geräusche stieg bei voller Verstärkung bis zu ~ 80 Phon, so daß sie zur Demonstration selbst in größten Hörsälen ausreichen würde. Bewegte man den Magneten in mehreren Zentimetern Entfernung von der Probe, so konnten namentlich höhere Frequenzen bis zu einigen Kilohertz festgestellt werden. In noch größerer Nähe, wo Feldstärken von etwa 200 Gauß gemessen wurden, traten mehr und mehr knackende Geräusche hervor, wie sie vom Barkhausen-Effekt her für das Umklappen größerer Bereiche bekannt sind.

Bei diesen Versuchen wurde der Übergang $n \rightleftharpoons s$ bei festgehaltener Temperatur durch Annähern oder Entfernen von Permanentmagneten bewirkt; umgekehrt wurde auch untersucht, ob Umklappgeräusche auftreten, wenn man diese Umwandlung im konstanten longitudinalen oder transversalen Magnetfeld durch Temperaturänderung hervorbringt. In diesem Falle traten keine Geräusche auf, die eindeutig mit der Umwandlung in Zusammenhang gebracht werden können.

Diese Experimente werden mit Proben geeigneterer geometrischer Form, bei denen ein vollständigerer Meissner-Effekt zu erwarten ist, fortgesetzt.

5. Versuchsergebnisse für *Nb*

Nach dem positiven Ausfall der Versuche an *NbN* erschien zunächst die Beantwortung der weiteren Frage wichtig, ob es sich um einen nur bei supraleitenden Verbindungen auftretenden Effekt handelt oder ob ihn auch reine Metalle zeigen. Die Übergangskurven reiner Metalle sind bekanntlich so schmal, daß Keesom (5) für sie den Übergang Normalleitung $\rightleftharpoons$ Supraleitung kalorimetrisch als praktisch völlig reversiblen Kreisprozeß verifizieren konnte. Entsprechende Versuche wurden an Niobmetall angestellt, weil dessen Sprungtemperatur mit nahezu unveränderter Apparatur ohne flüssiges *He* erreicht

2) Die röntgenspektrographische Analyse, die Herr Dr. Zipprich in dankenswerter Weise vorgenommen hat, ergab außer dem oben erwähnten *Ta*-Gehalt: *Cu* < 0,1 Proz., *Si* Spuren, *Sn* < 0,1 Proz., *Fe* keines.

bzw. unterschritten werden konnte. Auch diese Probe liefert Umklappgeräusche, die etwa von gleicher Lautstärke sind wie diejenigen des NbN; sie setzen schon beim Halbwert des Widerstandsabfalles ein und scheinen sich gegenüber dem NbN mit vorzugsweise brodelnden Geräuschen durch häufigere scharfe Knackgeräusche zu unterscheiden.

6. Diskussion der Versuchsergebnisse

Die beobachteten Geräusche sprechen für die Existenz von supraleitenden Elementarbereichen, die durch ein äußeres Magnetfeld ausgerichtet werden, ähnlich wie die Weißschen Bezirke im Ferromagnetikum. Der Effekt bildet zunächst eine experimentelle Fundierung der Schwammstrukturhypothese (6), die den nur makroskopisch definierten Zwischenzustand (das Gebiet der mittleren makroskopischen Permeabilität $0 < \mu < 1$) als mikroskopisch aus normalleitenden und supraleitenden Mikrobezirken aufgebaut ansieht. Auf dieser Basis hat kürzlich Karl M. Koch (7) das bisher unverständliche Verhalten supraleitender Hohlkugeln, wie es Shalnikov (8) beobachtet hatte, befriedigend erklären können. Daß die Umklappgeräusche im Zwischenzustand mit sinkender Temperatur lauter werden, ist insofern verständlich, als bei fortschreitender Abkühlung immer größere Teile der Substanz supraleitend werden und ausgerichtet werden können. Auch daß die Geräusche nach Unterschreitung der Temperatur des völlig verschwindenden Widerstandes wieder aufhören, entspricht der Erwartung, denn mit sinkender Temperatur wächst die kritische Feldstärke an, und das angelegte Magnetfeld kann schließlich als unterkritisch nicht mehr in die miteinander verschmolzenen Supraleitungsbereiche eindringen. Im Befund, daß beim Durchschreiten der Curie-Temperatur im konstanten äußeren Magnetfeld keine Umklappgeräusche auftreten, zeigt sich ein den Supraleitern und Ferromagnetika gleiches Verhalten. Wenn man ferner die breiten Hystersisschleifen der Supraleiter auf irreversible Verschiebungsprozesse von Mikrobereichen zurückführt, und damit erstmals eine Deutung dieser Erscheinung findet, so wird man die Theorie der Ferromagnetika nicht völlig z. B. durch Einbeziehung der Drehprozesse übertragen dürfen.

Über die Natur der supraleitenden Elementarbereiche vermag diese Beobachtung offenbar ebensowenig auszusagen wie der Barkhausen-Effekt über diejenige der Weißschen Bezirke. Jedoch besteht die Hoffnung, daß sich in Analogie zur Theorie des Ferromagnetismus Erklärungsmöglichkeiten für das kooperative Phänomen beim Eintritt der Supraleitung, also die Erscheinung des fast plötzlichen Eintretens der Supraleitfähigkeit, Höhe der Sprungtemperatur, der kalorischen Anomalien u. a. m. ergeben, wie sie kürzlich Kramers und Wannier (9) für das Ising-Modell gefunden haben. Schließlich dürften die Supraleitungsmikrobereiche für eine modellmäßige Erklärung des Zustandekommens des Meißner-Ochsenfeld-Effektes nicht ohne Bedeutung sein. Auf diese Fragen kann indessen erst nach Beendigung ausführlicherer Messungen eingegangen werden.

Zusammenfassung

Beim Übergang Normalleitung ⇌ Supraleitung von NbN und Nb im Magnetfeld werden in einer den Supraleiter umgebenden Suchspule ähnliche Geräusche induziert wie beim Barkhausen-Effekt der Ferromagnetika. Damit ist die Existenz supraleitender Mikrobereiche im Zwischenzustand experimentell sichergestellt und die Voraussetzung für eine Anwendung der Theorie des Magnetismus auf Supraleitungsprobleme gegeben.

Herrn Dr. G. Aschermann (Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung, Berlin O 17) danke ich verbindlichst für die Herstellung der NbN-Zylinder.

Literaturverzeichnis

1) L. W. Schubnikow, W. J. Chotkewitsch, J. D. Schepelew und J. N. Rjabinien, Physikalische Zeitschr. d. Sowjetunion, Sondernummer: Arbeiten aus dem Gebiete tiefer Temperaturen, Juni 1936, S. 46/47.
2) J. J. Thomson, Phil. Mag. (6) **30**, 192, 1915; Nature **95**, 494, 1915.
3) H. Barkhausen, Physik. Zeitschr. **20**, 401, 1919.
4) G. Aschermann, E. Friederich, E. Justi und J. Kramer, Physik. Zeitschr. **42**, 349, 1941.
5) W. H. Keesom, Zeitschr. f. techn. Phys. **15**, 515, 1934.
6) D. Shoenberg, Superconductivity, § 3, Cambridge University Press 1938.
7) Karl M. Koch, Zeitschr. f. Phys. **118**, 1, 1941.
8) A. Shalnikov, Journ. of Phys. Moskau **2**, 477, 1940.
9) H. A. Kramers und G. H. Wannier, Phys. Rev. **60**, 252 und 263, 1942.

Berlin-Charlottenburg, Kältelaboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, den 27. März 1942.

(Eingegangen 31. März 1942)

BESPRECHUNGEN

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

Das freie Elektron in Physik und Technik. Vorträge von E. Brüche, H. Ewest, R. Frerichs, W. Gerlach, A. Glaser, M. Kossel, C. Ramsauer, H. Rothe, H. Rukop, E. Ruska, M. Schottky und M. Steenbeck, veranstaltet vom VDE. und vom Außeninstitut der T. H. Berlin. Herausgegeben von C. Ramsauer. Berlin, Springer-Verlag 1940.

Die erste Hälfte der zwölf Vorträge ist vorwiegend der Elektronenphysik, die zweite der Elektronentechnik gewidmet: Gerlach behandelt das freie Elektron, Ramsauer seine Wechselwirkung mit der Materie, Schottky die Elektronenbefreiung an Oberflächen und in Halbleitern, Steenbeck die Erscheinungen der Hochvakuum- und der Gasentladung, Frerichs die Strahlungsanregung von Gasen und festen Körpern, Kossel die Physik der Röntgenstrahlung, Brüche die Systematik der Elektronengeräte, Rukop stationäre, Rothe nichtstationäre Vorgänge in Verstärker- und Senderöhren, Glaser die Stromrichter, Ruska die Abbildungsgeräte und Ewest die Leuchtröhren. Die vom Herausgeber in vorbildlicher Weise aufeinander abgestimmten Einzelarbeiten geben in ihrer Gesamtheit einen umfassenden Überblick über den heutigen Stand der Elektronenforschung und ihre Anwendungen, die hauptsächlich als Einführung in diese Gebiete für den Physiker und Elektrotechniker gedacht ist, aber auch den Fachmann durch viele interessante Einzelheiten zu fesseln vermag.

Die Ausstattung des Buches und die Qualität der Abbildungen sind sehr gut. Knoll

G. Kortüm, Elektrolytlösungen. Gr.-8°. 483 S. Mit 78 Figuren. Leipzig 1941. Akademische Verlagsgesellschaft. Geb. RM 28,—.

Referent hat in seiner Elektrolytmonographie die gesicherten experimentellen Ergebnisse der Elektrolytforschung mehr vom physikalischen Standpunkt dargestellt und dabei auch die Theorie der Elektrolyte behandelt. Referent betonte, daß noch viele Fragen offen geblieben sind, beispielsweise die Unsicherheit der Kenntnisse im Gebiet der konzentrierteren Lösungen auch im Zusammenhang mit dem Wirken der van der Waalsschen Kräfte. Es ist daher sehr zu begrüßen, daß ein so ausgezeichneter Kenner der Elektrolyte wie Kortüm nunmehr eine Monographie über Elektrolyte veröffentlicht, die in Ergänzung zu dem eben genannten Werke mehr die chemische Seite des Elektrolytproblems darstellt und gerade auf die erwähnten noch offenen Fragen auf dem Gebiete der konzentrierteren Lösungen eingeht, wenngleich die Forschungen hier naturgemäß noch heute stark im Fluß sind.

Das Inhaltsverzeichnis umfaßt 18 Kapitel: Einem einleitenden Kapitel folgen die Thermodynamik verdünnter Lösungen, energetische Betrachtungen über molekulare Vorgänge bei der Auflösung eines Salzes, die experimentellen Beweise der Unzulänglichkeit der Arrheniusschen Dissoziationstheorie, experimentelle Methoden zur Bestimmung von Dissoziationsgraden und Aktivitätskoeffizienten. In den Kapiteln 6 und 7 wird die Debye-Hückel-Onsager-Falkenhagen-Theorie der starken Elektrolyte besprochen, und es werden ihre Gültigkeitsgrenzen experimentell geprüft. Einem kurzen Kapitel über den Einfluß des Ionendurchmessers schließen sich drei Kapitel über die unvollständige Dissoziation starker Elektrolyte, die Bedeutung der van der Waalsschen Kräfte für Elektrolytlösungen und über konzentriertere Lösungen an. Besonders interessant sind hier die kritischen Betrachtungen des Verfassers über die Unzulänglichkeit der Hypothese der unvollständigen Dissoziation, also den Versuchen der Ermittlung des wahren Dissoziationsgrades aus thermodynamischen und Leitfähigkeitsuntersuchungen. Die einzige Methode zur exakten Ermittlung des wahren Dissoziationsgrades und damit der Dissoziationskonstante ist die optische Methode; auf diesem Gebiete liegen gerade die wesentlichsten Forschungen des Verfassers.

Es folgen einige Kapitel mehr chemischen Charakters; sie umfassen Diffusionspotentiale und Ionenaktivitäten, Normalpotentiale, p_H-Messungen, die Brönstedsche Theorie der Säuren und Basen, die Zusammenhänge zwischen der Dissoziationskonstante und der chemischen Konstitution, die Kinetik der katalytischen Neutralsalzwirkung. Das 17. Kapitel befaßt sich mit dem Aus- und Einsalzeffekt. Im Schlußkapitel geht Verfasser auf die Wechselwirkung zwischen Ionen und Lösungsmittelmolekülen ein; hier werden die interessanten Strukturveränderungen des Lösungsmittels durch gelöste Ionen und die hiermit im Zusammenhang stehende Solvation der Ionen diskutiert.

Gründlichkeit und Klarheit der Darstellung zeichnen das anregende Werk von Kortüm, „Elektrolytlösungen", aus. Druck und Ausstattung sind ausgezeichnet. Ich empfehle Kortüms „Elektrolytlösungen" allen Physikochemikern auf das wärmste. H. Falkenhagen

F. Sauberer-F. Ruttner, Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer. Probleme der kosmischen Physik. Bd. 21. 240 S. Mit 73 Abbildungen. Leipzig 1941. Akademische Verlagsgesellschaft. Geh. RM 18,—, geb. RM 19,80.

Wenn auch das Farbspiel der Meere schon frühzeitig auf die Menschen seinen Reiz ausübte und mit subjektiven Methoden immer wieder versucht wurde dem Problem nachzugehen, so brachte doch erst die Entwicklung der Sperrschichtphotozellen die nötige physikalische Untersuchungsmethodik, und heute verfügen wir schon über ein erstaunlich reichhaltiges Beobachtungsmaterial, dessen systematische Bearbeitung dringend nötig war, wie

man beim Lesen dieses Buches feststellt. Dabei haben sich erfreulicherweise Meteorologe und Biologe zusammengefunden, wodurch diese Zusammenstellung nach jeder Seite hin bestens abgerundet ist.

Sehr straff ist der Stoff gegliedert, und systematisch wird der Leser von den exakten physikalischen Strahlungsgesetzen aus in die Strahlungsverhältnisse der Gewässer eingeführt. Wenn auch bewußt die Verhältnisse im Meere nicht berücksichtigt wurden, so ist doch die Grundlage die gleiche und unterscheidet sich nur durch die größere Reinheit der Meere sowie die Verhältnisse in größeren Tiefen.

Von meteorologischer Seite her kennen wir die Strahlungsverhältnisse über Wasser sehr genau, und die wesentlichen Ergebnisse werden dargeboten (S. 47 finden sich einige Unstimmigkeiten), dann beschreiben sie die Strahlungseigenschaften des reinen Wassers. Die Änderung der Totalstrahlung, die Veränderung der spektralen Zusammensetzung mit der Tiefe, die Streuung und Absorption sind die Grundprobleme.

Dann werden die tatsächlichen Strahlungsverhältnisse der Gewässer auf Grund der Meßergebnisse erläutert, die Werte werden einheitlich auf eine Schichtdicke von 1 m Wasser bezogen, weshalb sie leicht vergleichbar sind, überhaupt sind die ausführlichen Zusammenstellungen und der Vergleich der einzelnen Ergebnisse jedem, der sich mit diesen Fragen befaßt, willkommen. Schon in 10 m Tiefe sind kaum noch 10 Proz. der einfallenden Strahlung vorhanden. Das reine Wasser hat infolge des Zusammenwirkens von selektiver Absorption und Streuung eine blaue Farbe, die Veränderungen nach Grün und Gelb sind zurückzuführen auf:

1. Beimengungen gelöster gefärbter Substanzen,
2. Zerstreuung und Absorption durch Schwebestoffe.

„Blau ist die Wüstenfarbe des Meeres", sagt schon ein älterer Satz, erst die Beimengungen (und damit Verfärbungen) zusammen mit der Wirkung des Lichtes ermöglichen die Existenz von Lebewesen. Für diese ist neben der Abnahme der Totalstrahlung die Verschiebung des Maximums der Intensität nach Rot von großer Bedeutung. Es treten Änderungen mit der Jahreszeit auf, besondere Ereignisse (Hochwasser) ändern ebenfalls die Strahlungseigenschaften gründlich. Die beiden Verfasser haben selbst an den Lunzer Seen reiche Erfahrung gesammelt. Abschließend werden die heutigen Meßmethoden eingehend beschrieben, so daß der Anfänger nicht erst tastende Versuche durchführen muß.

Auch der Physiker findet manche Anregung in diesem Buche. R. Penndorf (Berlin)

Zehn Jahre Elektronenmikroskopie. Ein Selbstbericht des AEG.-Forschungsinstitutes. Herausgegeben von Prof. Dr. Carl Ramsauer. 127 S. Berlin 1941. Brosch. RM 4.—.

Einen „Selbstbericht des AEG.-Forschungsinstitutes" nennt der Herausgeber dieses reich bebilderte Buch, das die Absicht verfolgt, auch der breiteren Öffentlichkeit einen Einblick in die nunmehr zehnjährige Tätigkeit des AEG.-Forschungsinstitutes auf dem Gebiete der Elektronenmikroskopie zu geben. Der Untertitel soll offenbar zum Ausdruck bringen, daß sich der Verfasser darauf beschränken will, vor allem die Leistungen der AEG. auf elektronenoptischem Gebiet darzustellen.

Jeder, der diese kleine, aber hervorragend ausgestattete Schrift auch nur flüchtig durchblättert, muß an den eindrucksvollen Bildern, die gar oft einen überraschenden Blick in die verborgene Welt des Mikrokosmos tun lassen, seine helle Freude haben, und auch der Fernerstehende muß durch das Buch einen nachhaltigen Eindruck von der Wichtigkeit der Elektronenoptik für die verschiedensten Zweige von Technik und Forschung bekommen. Man wird daher dem Herausgeber für diese zusammenfassende Veröffentlichung der bei der AEG. aufgenommenen Elektronenbilder nur dankbar sein können.

Leider nicht die gleiche Freude wird der Leser an dem den Bildern beigegebenen Begleittext haben. Hier muß sich jeder unwillkürlich fragen: Was will eigentlich das Buch, und an welche Leser wendet es sich? Es will doch offenbar als sachlich-wissenschaftliche Darstellung gewertet werden und mehr sein als etwa nur ein geschickt aufgezogener Firmenprospekt. Kann aber eine historische Darstellung des Entwicklungsganges der Übermikroskopie auch wissenschaftlichen Ansprüchen genügen, wenn bei den einzelnen Stufen des erreichten Fortschrittes vor allem Mitarbeiter des eigenen Institutes genannt werden und die anderen Autoren auch dann keine Erwähnung finden, wenn gerade sie den entscheidenden Schritt, wie z. B. „Vom Mikroskop zum Übermikroskop" (S. 59), getan haben? Weiterhin werden unter der Überschrift „Zur Entwicklung des Übermikroskops" auf S. 62 vier Zitate aus zusammenfassenden Arbeiten von Brüche aus den Jahren 1933, 1934, 1935 und 1937 angeführt. Im ersten und zweiten Zitat wird erörtert, was Knoll und Ruska in ihrer Arbeit vom Jahre 1932 erstmalig ausgesprochen haben, als sie das Auflösungsvermögen des Elektronenmikroskops vom Standpunkt der de Broglieschen Wellenvorstellung diskutierten. Im zweiten Zitat ist außerdem die Stellungsnahme des Autors zu den erstmaligen hochauflösenden Aufnahmen von Ruska aus dem Jahre 1934 enthalten, das dritte Zitat behandelt Ergebnisse von Arbeiten Ruskas und Martons. Das vierte Zitat schließlich bezieht sich in erster Linie auf die bisher genannten und inzwischen mit dem Ruskaschen Instrument von Krause erzielten Ergebnisse. Es ist schwer einzusehen, warum hierbei nur der Name Marton genannt wird und warum die Zitate nicht unmittelbar aus den Originalarbeiten der einzelnen Autoren, in denen diese Gedanken und Ergebnisse erarbeitet werden, entnommen worden sind. Weiter fällt z. B. unter anderem auf, daß bei Besprechung der elektrischen Einzellinse der Name des Erfinders Knoll fehlt.

Wenn daher auch Leser und Beschauer dieses Büchleins zwei ganz verschiedene Eindrücke erfahren müssen, so wollen wir doch hoffen, daß — wenn beide in einer Person vereinigt sind — der erfreuliche Eindruck überwiegt. Walter Glaser

Nachrichten

Dozenturen: An der Universität Göttingen Dr. Otto Westphal für organische Chemie und Biochemie, an der Universität Berlin Dr. Julius Dick für Astronomie, an der Universität Graz Dr. Franz Hanus für organische und pharmazeutische Chemie, an der Universität Heidelberg Dr. Kurt Kraft für Chemie, an der Universität Göttingen Dr. Gerhard Lyra für Mathematik.

Ernannt: Der o. Professor für allgemeine technische Chemie an der Deutschen Technischen Hochschule Brünn Dr. Anton Lißner in gleicher Eigenschaft an der Deutschen Technischen Hochschule Prag, der Dozent für Chemie an der Universität Königsberg Dr. Peter W. Schenk zum ao. Professor daselbst, der ao. Professor an der Universität Göttingen Dr. Karl Zeile zum o. Professor für organische Chemie an der Universität Straßburg, der außerplanmäßige Professor für Geochemie Dr. Friedrich Hegemann an der Universität Straßburg zum ao. Professor ebenda, der Dozent für organische Chemie an der Universität Wien Dr. Anton R. Wacek von Orlic zum außerplanmäßigen Professor ebenda.

Gestorben: Der frühere o. Professor der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Wien Hofrat Dr. Karl Hochenegg, der Dozent für Astronomie an der Universität Heidelberg und Lehrbeauftragter an der Universität Frankfurt a. M. Dr. Karl Boda, der frühere o. Professor für Geschichte der Technik an der Technischen Hochschule Berlin Dr. Conrad Matschoss, der Assistent am Chemischen Institut der Universität Halle Dipl.-Chem. R. Prölsa (in Afrika gefallen), der o. Professor der Mathematik an der Universität Posen Dr. Ernst August Weise (im Osten gefallen).

Gesuche

Für die
Literatur- und Patentabteilung
auf dem Gebiete der Physik, physikalischen Chemie, Fernsprech- u. Starkstromtechnik **suchen wir geeigneten**

Bearbeiter(in)

in selbst. Dauerstellung. Der Posten eignet sich auch für Kriegsversehrte.

Berlin-Charlottenburg / Keplerstraße 1–10
Auskunft über 30 06 61 Dr. Ehlers

Physiker

abgeschlossenes Universitätsstudium, 1¼ Jahr am Physikalischen Institut einer Hochschule tätig, sucht Stellung in der Industrie oder bei Behörde. Angebote mit Gehaltsangabe unter **S. H. 78** an den Verlag erbeten.

Physikerin

mit abgeschlossenem Studium (Staatsexamen), z. Zt. kurz vor der Promotion, sucht Tätigkeit an einer Bibliothek oder an einem Forschungsinstitut auf literarischem Gebiet. Angebote unter **S. H. 77** an den Verlag dieser Zeitschr. erb.

Zu kaufen gesucht:

Optische Plan- und Konkavgitter
aller Größen.

Angebote sind umgehend in 2facher Ausfertigung an die **E-Stelle der Luftwaffe Abt. F Rechlin/Müritz** zu richten.

Physiker
oder Dipl.-Ingenieure

mit guten allgemeinen Fachkenntnissen sowie nach Möglichkeit mit Spezialerfahrungen auf dem Gebiet der Hochfrequenz und Röntgenologie, Wärmetechnik und Kolloidphysik oder Meßtechnik, für Forschungsarbeiten und Betriebskontrolle für unsere Forschungsbetriebe gesucht. Ausführliche Bewerbungen mit Lebenslauf und Zeugnisabschriften werden unter Angabe des frühesten Antrittstermines und der Gehaltsansprüche erbeten an

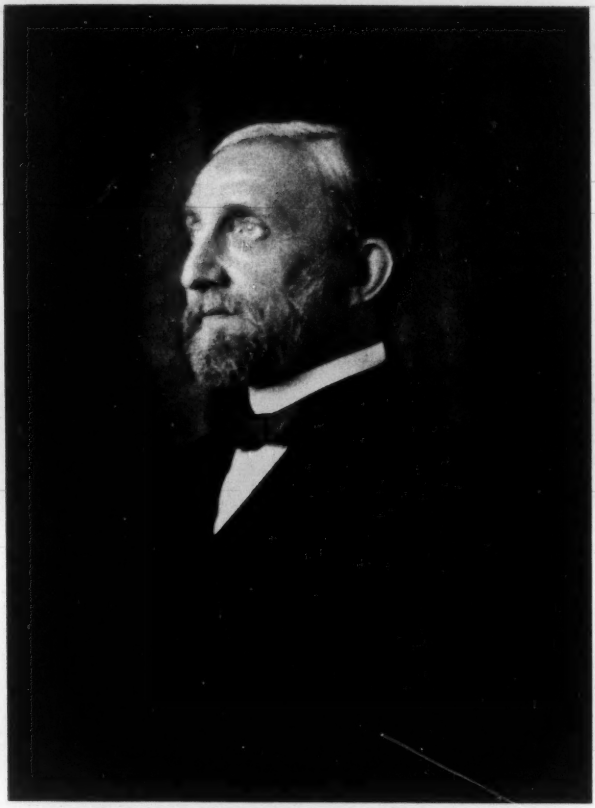
Phrix-Gesellschaft m. b. H.
Hamburg 36 / Phrix-Haus

Physiker(in)

auch Kriegsbeschädigter, mit Kenntnissen in Materialkunde zum baldigen Dienstantritt gesucht. Bewerbung mit selbstgeschr. Lebenslauf, Lichtbild, Gehaltsansprüchen, Zeugnisabschriften, frühestem Antrittstermin und Angaben des Wehrmachtsverhältnisses an die

Versuchsstelle für Hauswirtschaft des Deutschen Frauenwerks / Leipzig C 1
Windmühlenstraße 31 II

Verantwortlicher Schriftleiter: i. V. Dr. Ludwig Bewilogua, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG. Leipzig. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany



P. Lenard.